

KINROSS

Plano de Segurança de Barragens Usina Hidrelétrica de Caçu

VOLUME IV

APRESENTAÇÃO

A Kinross Brasil Mineração S/A contratou serviço especializado de Engenharia para elaboração da Revisão Periódica de Segurança de Barragens (RPS) da UHE Caçu, localizada no município de Caçu no Estado de Goiás.

A Revisão Periódica de Segurança de Barragens para a UHE Caçu, em comum acordo com a Lei nº 14.066/2020, referente à Política Nacional de Segurança de Barragens, Resolução nº 696/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e Resolução nº 236/2017, alterada pela Resolução nº 121/2022 da Agência Nacional de Águas (ANA), objetiva diagnosticar o estado geral de segurança da barragem, através dos estudos elaborados e inspeções realizadas, e indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança.

Desta forma, o presente relatório aborda a Revisão Periódica de Segurança de Barragens da UHE Caçu.

Volume I	Informações Gerais	594-CAC-RT-PSB-001
Volume II	Documentação Técnica do Empreendimento	594-CAC-RT-PSB-002
Volume III	Planos e Procedimentos	594-CAC-RT-PSB-003
Volume IV	Registros e Controles	594-CAC-RT-PSB-004
Volume V	Revisão Periódica de Segurança de Barragem	600-CAC-RT-RPS
Volume VI	Plano de Ação de Emergência	594-CAC-RT-PAE

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	RESUMO EXECUTIVO	4
2.1	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	4
2.2	IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR	6
2.3	RESPONSÁVEL TÉCNICO	6
2.4	PERÍODO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO.....	7
2.5	ESTUDOS REALIZADOS	7
3	RESULTADO DAS INSPEÇÕES REGULARES DA BARRAGEM	7
4	AVALIAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO DISPONÍVEL	9
5	REAVLIAÇÃO DA CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL	11
6	ANÁLISE DAS VIGAS MUNHÃO	16
7	REVISÃO HIDRÁULICA / HIDROLÓGICA	19
8	REVISÃO ELÉTRICA	21
9	REVISÃO MECÂNICA	23
10	ANÁLISE DOS SISTEMAS DE ALÍVIO DE SUBPRESSÃO E DRENAGEM INTERNA 26	
10.1	LIMPEZA E REPERFURAÇÃO DOS DRENOS	26
11	REVISÃO DE INSTRUMENTAÇÃO	29
12	REVISÃO DE ESTABILIDADE	40
12.1	ANÁLISE DE ESTABILIDADE - BARRAGEM DE TERRA	40
12.2	ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTRUTURAS DE CONCRETO	44
13	REVISÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	47
14	REVISÃO GEOLÓGICA/GEOTÉCNICA	48
15	CONCLUSÕES	54
16	RECOMENDAÇÕES	56
	REFERÊNCIAS	68
	ANEXOS	69

1 INTRODUÇÃO

O Volume V do PSB contém informações sintetizadas dos estudos e inspeções realizados em prol da Revisão Periódica de Segurança (RPS) da UHE Caçu.

Parte integrante do Plano de Segurança de Barragens, a Revisão Periódica tem como intuito, conforme consta no artigo 14º da REN 696/2017, diagnosticar o estado atual da segurança da barragem, considerando o avanço tecnológico, a atualização de informações hidrológicas na respectiva bacia hidrográfica, critérios de projeto e condições de uso e ocupação do solo a montante e a jusante do empreendimento. Para, com base nestas informações, indicar medidas a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem.

De forma resumida, deve-se realizar:

- O exame de toda a documentação da barragem, em especial dos relatórios de inspeção;
- O exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;
- A análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)¹ é o órgão fiscalizador da UHE Caçu, cabendo a ele a responsabilidade de estipular a periodicidade de atualizações, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da revisão periódica. Por sua vez, a elaboração da Revisão Periódica compete ao empreendedor, devendo ser conduzida por responsável técnico externo à Kinross Brasil Mineração S/A.

2 RESUMO EXECUTIVO

Este item aborda as principais informações sobre a UHE Caçu, a empresa responsável e os estudos realizados.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A Usina Hidrelétrica Caçu está localizada no rio Claro, afluente pela margem direita do rio Paranaíba, nas coordenadas 18º31'50" de latitude sul e 51º08'52" longitude oeste, no município de Caçu, Estado de Goiás.

¹ Resolução Normativa Nº 696, de 15 de dezembro de 2015.

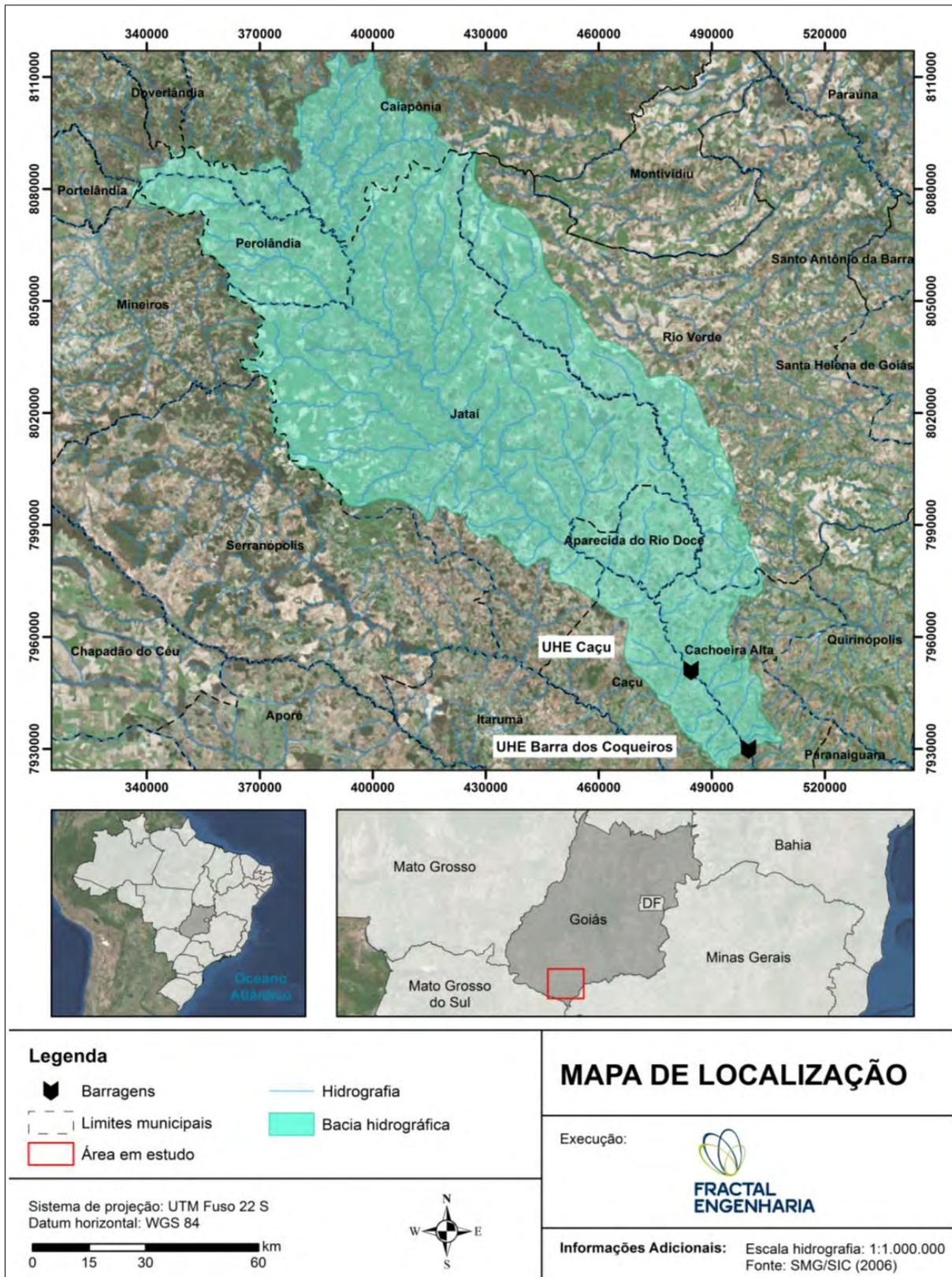


Figura 1. Mapa de Localização.

A UHE Caçu situa-se na bacia do rio claro a, aproximadamente, 350 km da capital do Estado, Goiânia, via Rio Verde, GO. O principal acesso rodoviário ao aproveitamento

hidrelétrico dá-se a partir da rodovia BR-364, localizada entre os municípios de São Simão e Jataí, GO.

O barramento da UHE Caçu é composto por:

- Barragem de Terra da Margem Direita (BTMD);
- Barragem de transição;
- Barragem de CCR;
- Tomada d'água (TA);
- Vertedouro de Superfície – Controlado (VS);
- Barragem de CCV;
- Barragem de Transição;
- Barragem de Terra da Margem Esquerda (BTME).

2.2 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

Nome da Usina	UHE Caçu	
Empreendedor	Kinross Brasil Mineração S/A	
CNPJ:	[REDACTED]	
Endereço:	Rod. BR040, km 36,5 - Zona Rural - Paracatu-MG	
Representantes da Empresa		
Nome	Cargo	Contato
Gilberto Azevedo	Presidente e Gerente Geral	Tel.: -
		Cel.: [REDACTED]
		E-mail: [REDACTED]

2.3 RESPONSÁVEL TÉCNICO

A Revisão Periódica da UHE Caçu foi realizada pela equipe da Fractal Engenharia e Sistemas, com registro CREA-SC Nº [REDACTED], empresa especializada em atividades de supervisão de barragens, inspeções regulares, monitoramento de instrumentação de auscultação, planos de contingência e de ações emergenciais - PAE, avaliação de potencial risco de ruptura, e demais atividades relacionadas à segurança de barragens.

O responsável técnico pela revisão é o **Eng. Ruben José Ramos Cardia**, Engenheiro Civil, CREA Nº [REDACTED], da Fractal Engenharia e Sistemas. O ANEXO 1 apresenta a ART do responsável técnico pela RPS.

2.4 PERÍODO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

Tendo em vista a classificação atribuída à UHE Caçu (Classe B), quanto ao seu risco e dano potencial associado, de acordo com a Resolução Normativa nº 696 de 2015, a Revisão Periódica exigida ao aproveitamento deve conter periodicidade máxima de 7 (sete) anos.

2.5 ESTUDOS REALIZADOS

- Avaliação das Inspeções Regulares de Segurança da Barragem;
- Verificação Estrutural da Segurança da Protensão da Viga Munhão no Pilar do Vertedouro;
- Revisão Hidrológica e Hidráulica;
- Estudo Hidrodinâmico de Restrição Operacional;
- Avaliação Eletromecânica dos Dispositivos do Vertedouro e do Sistema de Drenagem da Casa de Força;
- Revisão Mecânica da Comporta Segmento e Sistema de Drenagem da Casa de Força;
- Análise Estatística da Instrumentação;
- Estudo de Estabilidade Global das Estruturas Civis;
- Estudo de Estabilidade Global das Estruturas de Concreto;
- Revisão das Estruturas de Concreto; e
- Revisão Geológica.

3 RESULTADO DAS INSPEÇÕES REGULARES DA BARRAGEM

A barragem da UHE Caçu enquadra-se na **Classe B** da Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado da ANEEL (Resolução nº 696 de 2015) e é classificada como de Risco Baixo e Dano Potencial Associado Alto. De acordo com a referida resolução, as Inspeções de Segurança Regular da UHE Caçu devem ser realizadas com periodicidade limite de 1 ano.

Os documentos referentes às Inspeções Regulares realizadas identificam as anomalias encontradas durante a visita à campo da equipe responsável e recomendam as medidas preventivas e corretivas que devem ser realizadas pelo empreendedor da usina, a fim de garantir a segurança das estruturas.

Esses documentos também indicam o nível de segurança da barragem, de acordo com o diagnóstico realizado nas estruturas.

A TABELA 1 apresenta os dados referentes às Inspeções de Segurança realizadas na UHE Caçu, pela equipe da Fractal Engenharia e Sistemas.

TABELA 1. INSPEÇÕES DE SEGURANÇA REGULAR REALIZADAS.

Inspeções	Data de realização	Classificação ²	Categoria de Risco	Dano Potencial Associado	Classe da Barragem	Periodicidade da ISR
ISR 2017	10 de julho de 2017	Normal	Baixo	Alto	Classe B	Anual
ISR 2018	24 de abril de 2018	Normal	Baixo	Alto	Classe B	Anual
ISR 2019	08 e 09 de maio de 2019	Normal e Nível de Resposta 0 (verde)	Baixo	Alto	Classe B	Anual
ISR 2020	21, 22 e 23 de setembro de 2020	Normal e Nível de Resposta 0 (verde)	Baixo	Alto	Classe B	Anual
ISR 2021	20 e 21 de julho de 2021	Normal e Nível de Resposta 0 (verde)	Baixo	Alto	Classe B	Anual
ISR 2022	06 de julho de 2022	Normal e Nível de Resposta 0 (verde)	Baixo	Alto	Classe B	Anual

Todas as Inspeções de Segurança Regular que foram realizadas nas barragens e nas estruturas anexas a elas na UHE Caçu, indicaram que a situação das estruturas era **NORMAL**, segundo a classificação da ANEEL e o **Nível de Resposta 0 (Verde)**, conforme classificação da ANA.

A barragem é considerada **NORMAL** quando não há anomalias ou quando as que existem não comprometem a segurança da barragem, mas devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo. O **Nível de Resposta 0 (Verde)** é utilizado quando a situação encontrada no local ou a ação de eventos externos à barragem não compromete a segurança da mesma, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo.

Portanto, não há indicação de que o comportamento e a estabilidade da barragem da UHE Caçu estejam diferentes das condições estabelecidas em projeto.

No ano de 2021, além da Inspeção de Segurança Regular, realizada anualmente para atendimento legal, foi realizada Inspeção de Segurança Especial (ISE), a fim de embasar os estudos da Revisão Periódica de Segurança da UHE Caçu. A inspeção contemplou as disciplinas de concreto, geologia, geotecnia, elétrica e mecânica. As datas das inspeções que fazem parte da ISE estão dispostas na TABELA 2 a seguir.

O detalhamento quanto às conclusões e recomendações destas inspeções, estão dispostos nos próximos itens e nos arquivos dos ANEXOS.

TABELA 2. INSPEÇÕES REALIZADAS.

Data de realização	Tipo
15 de abril de 2021	Revisão das Estruturas de Concreto
21 e 22 de julho de 2021	Revisão Geológica e Geotécnica

² Classificação de acordo com os critérios estabelecidos na Lei nº 12.334/2010, atualizada pela Lei 14.066/2020, na RES. 696/2015 da ANEEL e na RES. 236/2017 da ANA.

Ressalta-se que a realização da ISE não se deu em virtude de anomalias ou mudanças na situação da barragem, e sim em decorrência da Revisão Periódica de Segurança da UHE Caçu, que requer inspeções multidisciplinares nas estruturas da barragem.

4 AVALIAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO DISPONÍVEL

Neste documento, serão abordados e sintetizados estudos, revisões, inspeções de segurança, o plano de segurança e o plano de ação de emergência que foram realizados para a UHE Caçu:

- Em 22 de agosto de 2017, foi emitido o documento 362-1027-RT-ISR-001-RA, referente à Inspeção de Segurança Regular de 2017. Em 05 de junho de 2018, foi emitido o documento 362-1027-RT-ISR-001-RA_2, referente à Inspeção de Segurança Regular de 2018. Em 28 de setembro de 2019, foi emitido o documento 480-CAC-RT-ISR-001-REV_1, referente à Inspeção de Segurança Regular de 2019. Em 07 de dezembro de 2020, foi emitido o documento 600-CAC-RT-ISR-020-REV_0, referente à Inspeção de Segurança Regular de 2020. Em 21 de outubro de 2021, foi emitido o documento 600-CAC-RT-ISR-021-0, referente à Inspeção de Segurança Regular de 2021. Em 02 de outubro de 2022, foi emitido o documento 600-CAC-RT-ISR-022-0, referente à Inspeção de Segurança Regular de 2022;
- Em março, outubro e novembro de 2021, foram emitidos os Projetos *as-is* da instrumentação das estruturas de terra e enrocamento e de concreto da UHE Caçu, que contêm as plantas e seções atualizadas;
- Em 21 de maio de 2021, foi emitido documento 624-CAC-BCO-RT-TRB-003-A, referente ao cálculo do Fator de Segurança da Viga Munhão da UHE Caçu e da UHE Barra dos Coqueiros;
- Em julho de 2021, foi emitida a Revisão Hidrológica e Hidráulica atualizada da UHE Caçu, documento 571-UHECAC-RT-HDD-5, que está sintetizado no item 7 e apresentado no ANEXO 5;
- Também foi elaborado o documento 600-CAC-HID-RT-001-2, referente ao Estudo Hidrodinâmico de Restrição Operacional, emitido em sua versão atualizada em 22 de dezembro de 2020 e apresentado no ANEXO 5;
- Em 2021, foi realizada a atualização no Plano de Segurança da Barragem (PSB) e no Plano de Ação de Emergência (PAE). O PSB contém 6 (seis) volumes. O Volume I, 594-CAC-RT-PSB-001, emitido em 16 de agosto de 2021, aborda as Informações Gerais. O Volume II, 594-CAC-RT-PSB-002, emitido em 16 de

agosto de 2021, aborda a Documentação Técnica do Empreendimento. O Volume III, 594-CAC-RT-PSB-003, emitido em 16 de agosto de 2021, aborda os Planos e Procedimentos. O Volume IV, 594-CAC-RT-PSB-004, emitido em 16 de agosto de 2021, aborda os Registros e Controles. O Volume V, 600-CAC-RT-RPS, trata-se do presente documento. O Volume VI, 594-CAC-RT-PAE, emitido em 10 de dezembro de 2021, trata-se do Plano de Ação de Emergência;

- Em setembro de 2021, foi emitido o documento 600-CAC-RT-REC-021-1, referente à Revisão das Estruturas de Concreto da UHE Caçu. O documento consta no ANEXO 5 deste relatório;
- Em outubro de 2021, foi emitido o documento 600-CAC-RT-GEO-021-1, referente à Revisão Geológica da UHE Caçu. O documento consta no ANEXO 5 deste relatório;
- Em janeiro de 2022, foi emitida a versão atualizada da Revisão Eletromecânica da UHE Caçu. O documento 600-CAC-RT-ELT-021-1, refere-se ao Relatório Técnico de Avaliação Eletromecânica dos Dispositivos do Vertedouro e do Sistema de Drenagem da Casa de Força. O documento 600-CAC-RT-MEC-021-0, emitido em janeiro de 2022, refere-se ao Relatório Técnico de Revisão Mecânica da Comporta Segmento e Sistema de Drenagem da Casa de Força. Ambos os relatórios podem ser acessados no ANEXO 5 deste documento;
- Em março de 2022 foi elaborado o documento 600-CAC-RT-LIM-1, referente a Análise Estatística da Instrumentação. O documento consta no ANEXO 5 deste relatório;
- Em 2022, foi realizada a limpeza e reperfuração dos drenos instalados na UHE Caçu, para melhoria do sistema de drenagem interno e alívio da subpressão. O relatório referente a esse serviço será sintetizado no item 10;
- Em novembro de 2022, foi elaborado o documento 600-CAC-RT-RES-022-0, referente ao Estudo da Estabilidade Global das Estruturas de Concreto da UHE Caçu, de acordo com os Projetos As Is de instrumentação. O documento consta no ANEXO 5 deste relatório;
- Em 22 de novembro de 2022, foi realizada a atualização do documento 600-CAC-RT-RES-REV_4, Estudo de Estabilidade das Estruturas de Terra e Enrocamento da UHE Caçu, de acordo com os Projetos *as-is* de instrumentação. O documento consta no ANEXO 5 deste relatório;
- Mensalmente são emitidos Relatórios de Validação de Auscultação para a UHE Caçu, que indicam o estado em que a barragem se encontra, de acordo com os dados de instrumentação. Os últimos três relatórios emitidos referem-se à Validação dos Dados de Auscultação das campanhas de monitoramento de

maio, junho e julho de 2022, sendo eles: o 600-CAC-RT-RVA-AGO-22-REV_A, de 15 de setembro de 2022, o 600-CAC-RT-RVA-SET-22-REV_A, de 15 de outubro de 2022 e o 600-CAC-RT-RVA-OUT-22-REV_A, de 16 de novembro de 2022.

Todos os documentos indicados neste documento estão de acordo com a situação atual da barragem da UHE Caçu.

No presente relatório, não foram realizadas comparações entre os estudos atuais com estudos anteriores, uma vez que esta é a primeira Revisão Periódica de Segurança na UHE Caçu, conforme requisitos legais.

5 REAVALIAÇÃO DA CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL

A Lei de Segurança de Barragens n. 12.334/2010, atualizada em 2020 pela Lei n. 14.066/2020, regulamenta os itens relacionados à classificação de Barragens. Finda a revisão das informações e readequação dos formulários, conforme orientação no item nº 15 da NT-76/2013 da ANEEL, RES n. 696/2015, a Categoria de Risco e Dano Potencial Associado da UHE Caçu foi definida como sendo Risco Baixo e Dano Potencial Associado Alto, sendo classificada como **Classe B**. As TABELA 3, TABELA 4, TABELA 5 e TABELA 6, a seguir, apresentam a classificação de risco e DPA da barragem, conforme indicado na REN 696/2015 da ANEEL. Os resultados estão sintetizados nas TABELA 8 e TABELA 9.

TABELA 3. II.1 MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO – CT.

1 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT						
Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem quanto ao material de construção (*) (b)	Tipo de Fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)	Casa de Força (g)
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 200m (2)	Concreto Convencional (1)	Rocha sã (1)	Entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)	Barragem / Dique sem Casa de Força associada (0)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de Pedra / Concreto Ciclópico / Concreto Rolado – CCR (2)	Rocha Alterada Dura com tratamento (2)	Entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)	Casa de força associada à barragem por meio de conduto forçado, túnel, etc (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (2)	-	Terra homogênea / Enrocamento / Terra enrocamento (3)	Rocha Alterada sem tratamento / Rocha Alterada Fraturada com tratamento (3)	Entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)	Casa de força ao pé da barragem (5)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha Alterada Mole / Saprolito / Solo Compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (5)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)	-
-	-	-	Solo Residual / Aluvião (5)	-	-	-
CT = ∑ (a até g)		18				

TABELA 4. II.1 MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO – EC.

2 – ESTADO DE CONSERVAÇÃO – ET					
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (h)	Confiabilidade das estruturas adutoras (i)	Percolação (j)	Deformações e Recalques (k)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (l)	Eclusa (m)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos. (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento. (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem. (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0) ³	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente. (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução da capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação. (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas. (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Estruturas civis e hidroeletromecânicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente. (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução da capacidade de vazão e sem medidas corretivas.	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico. (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis e equipamentos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas. (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente. (8)	Existência de trincas e abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)
EC = ∑ (h até m)					3

³ Apesar de observada durante a inspeção geológica/geotécnica, a falha na proteção vegetal do talude jusante foi totalmente sanada no ano de 2022, conforme evidenciado na ISR 2022 da UHE Caçu.

TABELA 5. II.1 MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO – PS.

3 – PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM – PS				
Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação ®
Projeto executivo e “como construído” (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou “como construído” (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
Inexistente documentação de projeto (8)	-	-	-	-
EC = ∑ (n até r)		2		

TABELA 6. II.2 MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO – DPA.

Volume Total do Reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto sócio-econômico (d)
Pequeno ≤ 5 milhões m^3 (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m^3 (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou servidões de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m^3 (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)	-	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito grande > 200 milhões m^3 (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-
DPA = \sum (a até d)		28	

TABELA 7. PONTUAÇÕES OBTIDAS NA RECLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM.

CT	18
EC	3
PS	2
DPA	28

TABELA 8. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO.

CRI*	CATEGORIA DE RISCO
$(CT + EC + PS) \geq 62$ ou $EC \geq 8^{**}$	ALTO
$35 < (CT + EC + PS) < 62$	MÉDIO
$(CT + EC + PS) \leq 35$	BAIXO

*CRI é a categoria de risco em que a usina se enquadra e ela é dada pela soma dos critérios de CT (características técnicas), EC (estado de conservação) e PS (plano de segurança de barragens).

**Pontuação (maior ou igual a 8) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

TABELA 9. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO.

DPA	DANO POTENCIAL ASSOCIADO
-----	--------------------------

DPA \geq 16	ALTO
10 < DPA < 16	MÉDIO
DPA \leq 10	BAIXO

6 ANÁLISE DAS VIGAS MUNHÃO

Conforme observado em campo desde 2016 pela Fractal Engenharia, existem sinais claros de infiltrações através das bainhas de protensão das vigas munhão da UHE Caçu, com exsudação de material aparentemente formado por carbonato de cálcio e óxido de ferro (FOTO 1).

Segundo o especialista em estruturas, contratado pela Fractal Engenharia para realizar as análises das vigas munhão, as infiltrações ocorrem possivelmente através do contato entre os concretos do 1º e 2º estágio na região de montante dos pilares.



FOTO 1. VIGAS MUNHÃO DA UHE CAÇU, COM INDICAÇÃO DE SINAIS DE INFILTRAÇÃO ATRAVÉS DAS BAINHAS.

Em virtude das constatações visuais de possível corrosão das cordoalhas, foram realizados, pela empresa CORDEC, testes do tipo RIMT para verificação do grau de comprometimento das barras protendidas. Os testes, realizados anualmente entre 2016 e 2021, detectaram corrosão de graus 1 e 2, em todas as vigas da UHE Caçu.

Em 2021 a Fractal Engenharia realizou estudo específico para cálculo de estabilidade das vigas-munhão, considerando as barras parcialmente comprometidas (perda de área de

25%). Os cálculos resultaram em fatores de segurança próximos à 2,0, mesmo sob as condições conservadoras do estudo.

Em 2022 a Kinross contratou a empresa STANTEC para realizar estudos relacionados às vigas munhão. Seguem dispostas as principais conclusões da STANTEC, obtidas no relatório emitido pela ARHPI Consultoria (ANEXO 4):

- O teste realizado atualmente (RIMT) não pode ser aceito como única opção para estabelecer a magnitude da corrosão e espaços vazios das cordoalhas protendidas;
- Segundo estudos de estabilidade, realizados utilizando modelos de elementos finitos (Abaqus), as vigas apresentam coeficiente de segurança próximos a 2 até o momento em que ocorre a separação entre o munhão e o pilar do vertedouro (estado limite de descompressão). Os deslocamentos longitudinais antes de atingir esse ponto são muito pequenos e não muito sensíveis a variações na força de protensão restante. A separação é produzida para protensão de 26% do valor original (2627 kN em cada cabo). Esta situação considera um relaxamento inicial de protensão de 35%, e equivale a uma seção transversal restante do cabo de 40% do valor original; e
- Os resultados do método RIMT indicaram apenas uma redução discreta da seção transversal de aço devido à corrosão, assim, há uma preocupação mínima sobre o colapso estrutural a curto prazo das vigas munhão.

Como recomendação para a Kinross, a STANTEC listou os seguintes pontos:

- Realização de testes periódicos anuais usando o método RIMT;
- Na medida em que os resultados desses testes não reflitam aumentos na deterioração, ou mostrem qualquer resultado acima da classificação de Grau 3, este sistema pode ser mantido ao longo do tempo;
- Se os resultados do teste não atenderem aos requisitos mencionados no ponto anterior, recomenda-se implementar as seguintes ações:
 1. Analisar em profundidade a possibilidade de implementar técnicas como o Ultrasonic Pulse Phased Array, Gammagraphy e/ou sondas invasivas para poder corroborar os resultados dos testes do método RIMT e obter resultados quantitativos que permitam conhecer com certeza o estado de deterioração dos cabos de protensão e suas condições de operação;
 2. Realizar os testes das ancoragens das barras de aço previstas na solução BEDE e finalizar os planos detalhados de engenharia/construção, e a programação das obras, recursos, logística etc.;

3. Iniciar os estudos da solução de exoesqueleto de aço realizando uma análise de viabilidade, estudo de custo e avaliação de vantagens e desvantagens em relação à solução de concreto. A partir desses estudos, determine se o desenvolvimento detalhado desta solução está avançado; e
4. Caso os resultados sucessivos dos ensaios do método RIMT demonstrem uma deterioração progressiva da armadura, e as técnicas referidas no ponto 3 anterior não derem resultados favoráveis, recomenda-se a execução da armadura de acordo com a solução de BEDÊ Engenharia com concreto ou, na sua falta, com o exoesqueleto de aço, caso estudos prévios tenham demonstrado sua adequação e, conseqüentemente, tenha havido avanços em sua engenharia de construção.

Com base no exposto acima, nos documentos analisados, nas análises efetuadas e no histórico relatado das infiltrações nas bainhas metálicas de protensão, se torna necessário recomendar:

- Realização de testes RIMT anuais, e caso haja observação de aumento da classe de corrosão (Grau 3), a realização dos testes secundários, mencionados pela STANTEC; (Recomendação 'Permanente');
- Instrumentação da junta entre a viga munhão e o pilar do vertedouro, de forma a confirmar que não há abertura da junta em nenhuma situação. A sugestão da Fractal é que o controle de abertura seja feito com o uso Medidores de Junta (MJ) automatizados, de forma a permitir medições em tempo real e que não impactem na segurança dos leituristas, visto que a região é de difícil acesso; (Recomendação 'Imediata'); e
- No caso de verificação de sinais de abertura na junta e/ou aumento da corrosão, implementação da solução da BEDÊ Engenharia, conforme descrito pela STANTEC (exoesqueleto de concreto ou metálico). (Recomendação 'Indeterminada').

7 REVISÃO HIDRÁULICA / HIDROLÓGICA

Na Revisão Hidrológica e Hidráulica foram verificados os efeitos da atualização da Curva Cota-Volume do reservatório da UHE Caçu na capacidade de defluência do empreendimento. A Revisão Hidrológica e Hidráulica está apresentada no ANEXO 5.

Na atualização do estudo, foi considerada a série temporal das vazões afluentes realizadas para o eixo da Barragem Caçu, enquanto no Projeto Básico foram empregadas séries temporais de estações fluviométricas próximas ao eixo. No estudo atual, foi utilizada uma série temporal, nos estudos de cheias, que conta com 47 anos de dados de vazões médias diárias e no Projeto Básico havia sido considerada uma série temporal de 35 anos. A vazão Q_{MLT} revisada é igual a 204,90 m³/s, contra 194,00 m³/s do Projeto Básico do empreendimento. A TABELA 10 apresenta as vazões máximas de referência, relativas ao projeto básico e à revisão hidrológica e hidráulica atual para diferentes probabilidades de ocorrência em cada período de retorno.

TABELA 10. ANÁLISE DAS VAZÕES MÁXIMAS.

Períodos de retorno	Projeto Básico ⁴ [m ³ /s]	Revisão hidrológica (1%) [m ³ /s]	Revisão hidrológica (50%) [m ³ /s]	Revisão hidrológica (99%) [m ³ /s]
2	724	761	738	715
100	1.584	1.704	1.586	1.467
500	1.912	2.122	1.895	1.675
1000	2.053	2.298	2.025	1.753
10.000	2.521	2.898	2.450	2.002

Segundo os dados de projeto, o reservatório sofreu uma redução de 19% de volume total e 17% de volume útil, em relação ao documentado no projeto básico da UHE Caçu. Essa redução tem por consequência o aumento da demanda sobre a capacidade dos vertedouros.

A revisão hidrológica/hidráulica foi embasada na construção de um modelo conceitual utilizando a ferramenta computacional HEC-RAS (HEC, 2016). Foi avaliado o comportamento dos hidrogramas de projeto propagados ao longo do reservatório da UHE Caçu até o vertedouro do empreendimento, considerando os efeitos de translação e abatimento do reservatório sobre a onda.

A revisão concluiu que, para o sistema de comportas totalmente funcional, o empreendimento é operável em segurança, mesmo sob condições extremas de cheias com

⁴ Projeto Básico UHE Caçu – Geral – Relatório Final do Projeto Básico. 8958/00-10-RL-1001. REV. C. Junho de 2007.

recorrências de 10.000 anos. Para o sistema de comportas parcialmente operante (2 comportas operantes), o empreendimento possui segurança para cheias de até 100 anos de recorrência. Para cheias com 500 anos de tempo de recorrência, e sistema parcialmente operante, pode ocorrer a sobrelevação do reservatório, com perda de borda livre. A partir de 1.000 anos, pode ocorrer o galgamento das estruturas de concreto. O cenário com todas as comportas inoperantes é inadmissível e não existe capacidade para afluições iguais ou maiores ao TR de 2 anos.

O Nível Máximo Maximorum no canal de fuga foi avaliado e a cota de jusante foi atendida. A borda livre das estruturas de concreto e terra/enrocamento foi calculada e atende adequadamente às diretrizes de projeto preconizado por Eletrobrás (2003).

Também foi elaborado o Estudo Hidrodinâmico de Restrição Operacional, com o objetivo de verificar e validar a cota de inundação nos canais de restituição e fuga da UHE Caçu. A Estudo Hidrodinâmico de Restrição Operacional está presente no ANEXO 5.

O estudo determina diretrizes a serem seguidas para aperfeiçoamento dos resultados qualitativos dos dois tipos de transporte de sedimentos que ocorrem na região a jusante, o movimento por arraste e o movimento de massa (*bulk flow*) por onda gravitacional.

O estudo foi realizado com o uso do módulo bidimensional do HEC-RAS, utilizando dados hidrológicos, topográficos e estruturais da UHE Caçu. Foram analisados 3 cenários de defluência: operação do vertedouro (TR de 2, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos), operação da casa de força (vazões de 140 m³/s e 280 m³/s) e operação conjunta da casa de força e vertedouro.

O Quadro 1 sintetiza os resultados obtidos no estudo.

Quadro 1. Síntese.

Local	Processo – Gatilho	Inunda ou galga	Risco à segurança da barragem	Frequência
Casa de Força	Inundação	Não	Baixo.	1:10.000 anos <1% do tempo
Abraço + BTME	Erosão	Não	Baixo. Processo ativo por arraste e onda gravitacional e com progressão lenta. Proteção com sinais de intemperismo.	Operação do vertedouro <10 % do tempo
Septo	Erosão e inundação	Sim	Não se aplica. Processo ativo por arraste com progressão moderada.	Operação do vertedouro <10% do tempo >1:1.000 anos
Margem esquerda	Erosão	Sim	Não se aplica	<1% do tempo
Espigão	Erosão	Não	Baixo. Proteção com sinais de intemperismo e ação por arraste e onda gravitacional.	Operação do vertedouro <10 % do tempo

A Declaração de Capacidade de Descarga dos Dispositivos Extravasores está apresentada no ANEXO 2.

8 REVISÃO ELÉTRICA

O relatório referente à Avaliação Eletromecânica dos Dispositivos do Vertedouro e do Sistema de Drenagem da Casa de força está no ANEXO 5. O relatório apresenta a análise realizada no sistema e as recomendações após as avaliações. Seguem as principais constatações do documento:

- A RIP é a atual contratada responsável para a execução da Operação e Manutenção da UHE Caçu. Ela dispõe de equipe fixa na usina e de apoio técnico na sede da empresa. Quando realizada a avaliação dos dispositivos eletromecânicos, estava em fase de implantação um sistema computacional, chamado Engeman, para a gestão da operação e da manutenção;
- Na avaliação elétrica dos dispositivos, foram analisados o sistema de corrente alternada, o sistema de corrente contínua, as comportas do vertedouro, o sistema de drenagem da casa de força e os sobressalentes;
- No sistema de corrente alternada, foram observadas divergências nas documentações, como a tensão de entrada da fonte externa. Também foi informado que o gerador diesel de emergência é inspecionado e operado em testes semanalmente e a manutenção preventiva periódica é realizada por empresa especializada, com a execução dentro do prazo. Para a realização do teste periódico, é indicado pelos fabricantes a realização do teste com e sem carga. No momento, está sendo realizado apenas teste sem carga. Além disso, foi verificado que o reservatório de óleo diesel aparenta ter uma capacidade baixa para o porte do GDE, porém, na análise da documentação não foi possível confirmar qual a capacidade de projeto;
- O sistema de corrente alternada possui plano de manutenção estabelecido, com a determinação de periodicidades diferenciadas para cada ativo. Não foram obtidos históricos das manutenções periódicas de menor frequência e maior amplitude realizados pela empresa de O&M anterior;
- No sistema de corrente contínua, foi observado que as baterias são do tipo selada e mantidas em sala específica com climatização adequada. Além disso, foi observado que as baterias utilizadas estão operando acima do limite da vida útil, que é de 10 anos. Durante inspeção, foi verificado que o sistema está com um dos polos com fuga a terra, portanto, caso ocorra uma falha que leve o outro polo a terra, a fonte ficará inoperante. A equipe da usina informou que já é planejada a troca das baterias;

- O sistema de corrente alternada possui plano de manutenção estabelecido, com a determinação de periodicidades diferenciadas para cada ativo. Não foram obtidos históricos das manutenções periódicas de menor frequência e maior amplitude realizados pela empresa de O&M anterior;
- Quanto às comportas do vertedouro, o sistema de abertura e fechamento foi modernizado, com a instalação de inclinômetros e atualização de software do controlador lógico programável, além da opção de comando conjunto para as comportas. A usina também está em processo de implementação de um sistema de acionamento de emergência, baseado em bomba com acionamento por motor a diesel, conectada diretamente a linha de pressão. No QSVT (Quadro de supervisão e controle do vertedouro) foram observados cabos sem anilhas de identificação;
- Pelas configurações apresentadas nos sistemas de corrente contínua e corrente alternada, para as comportas do vertedouro, é possível concluir que o sistema se mantém operacional, mesmo se uma falha simples ocorrer;
- As instruções de operação do vertedouro foram atualizadas em julho de 2021 em um novo e completo Manual de Operação Hidráulica, que é de amplo conhecimento e uso pela equipe de operação. A rotina de operação mantém registros do controle do reservatório. Para a operação do vertedouro, a referência de medição dos níveis de montante e jusante são baseadas em um sistema de medições hidráulicas modernizado, que conta com duas sondas ultrassônicas e uma sonda hidrostática. O PAE foi apresentado pela equipe de operação. Os documentos não contemplam tratamento de contingências. A antiga empresa possuía um plano de contingência incompleto, que não era de conhecimento da atual empresa de O&M. É recomendado resgatar as informações desse plano de contingência anterior para a elaboração de um atualizado, que seja disponibilizado para a equipe de O&M;
- Os quadros elétricos das comportas dos vertedouros possuem planos de manutenção estabelecidos, bem como as unidades hidráulicas. Não foram obtidos históricos das manutenções periódicas de menor frequência e maior amplitude realizados pela empresa de O&M anterior;
- Quanto ao sistema de drenagem da Casa de Força, foi calculado o tempo máximo para normalização do sistema, em caso de falha geral com o bombeamento, que é de três horas. O tempo aparenta ser pouca capacidade de armazenamento ou a afluência considerada foi muito elevada. O sistema de drenagem possui um sistema de alarme de acionamento ou desligamento das bombas. Foi observado, durante a inspeção em campo, que os valores dos

níveis de operação automática divergiam dos encontrados na documentação técnica. Também foi verificado que as sondas de medição dos níveis de drenagem estão sem identificações. No sistema de alimentação de corrente contínua, foi constatado que o sistema se mantém operacional mesmo com a ocorrência de uma falha simples. No sistema de alimentação de corrente alternada, foi constatado que, caso ocorra uma falha simples, as duas motobombas de drenagem ficariam indisponíveis. Há a opção de interligar o poço de drenagem com o poço de esgotamento para permitir a drenagem pelas duas motobombas de esgotamento, porém ambas são alimentadas pela mesma barra do CCMDE (Quadro de Controle de Motores da Drenagem e de Esgotamento) e também ficariam indisponíveis na falha simples que afete a barra única do CCMDE. Existe histórico de que seguradoras apontam a necessidade desse sistema ser alimentado com duas barras independentes;

- A operação do sistema de drenagem é automática, com a operação supervisionando a partir do SDSC. Não existe um plano de contingência com instruções. O plano de manutenção envolvendo o quadro elétrico e as motobombas ocorre com periodicidade bimestral. Não foram obtidos históricos das manutenções periódicas de menor frequência e maior amplitude realizados pela empresa de O&M anterior;
- As condições de armazenamento dos equipamentos sobressalentes são inadequadas; e
- Foi constatado que diversos documentos estão com números de revisões que indicam serem documentos oriundos do projeto executivo e nem sempre estão liberados para a execução. Na inspeção, confirmou-se que existem discrepâncias entre alguns documentos e a instalação.

9 REVISÃO MECÂNICA

O relatório referente à Revisão Mecânica da Comporta Segmento do Vertedouro e do Sistema de Drenagem da Casa de força está no ANEXO 5. Seguem as principais conclusões do documento:

- O sistema de drenagem da Casa de Força se encontra em bom estado de operação e em 2020 passou por um processo de manutenção completa com a desmontagem das bombas para manutenção geral das mesmas e limpeza total do poço de drenagem, não necessitando de maiores intervenções além daquelas rotineiras já adotadas nos procedimentos de manutenção preventiva e corretiva da usina;

- A operação remota do sistema na sala de comando está em boas condições e como uma ação de monitoramento constante, uma tela específica para o sistema de drenagem fica constantemente em observação pelos operadores da usina que ficam apostos na sala de comando;
- Se observou que nos cilindros hidráulicos, durante os 10 anos de operação da comporta, não foram submetidos a nenhuma manutenção. Se recomenda que durante a manutenção das comportas que os cilindros sejam desmontados para avaliar as condições internas verificando as condições das camisas, hastes, vedações, fitas guias, rótulas e também recuperado toda a proteção anticorrosiva (pintura);
- Se observou que os tubos da interligação hidráulica entre cilindros e unidade hidráulica apresentam um desgaste excessivo na proteção anticorrosiva e pontos de oxidação. Se recomenda que as interligações hidráulicas sejam repintadas novamente para recuperar a proteção anticorrosiva;
- Todos os sistemas de indicação de posição das comportas segmento estão sendo modernizados com a substituição dos encoders previstos no projeto original por um indicador de posição pendular atualmente utilizado em comportas segmento. Durante a inspeção das comportas, se observa uma possibilidade de danos no instrumento montado em um dos braços das comportas próximo do munhão devido impacto de um corpo caindo da elevação 479,00m ou devido a um choque acidental de um profissional que possa estar realizando uma atividade de manutenção próximo do munhão. Se recomenda implementar uma proteção para evitar tais impactos acidentais no instrumento e/ou no cabo da interligação (caso não seja um cabo devidamente projetado para esta condição de impacto). Alerta: danos ao instrumento e/ou cabo de interligação podem não permitir a operação das comportas remotamente, provocando a necessidade do operador se deslocar da sala de comando para acionar a comporta através do painel de comando local observando fisicamente a comporta quanto a questão de abertura;
- A estrutura das comportas segmento do vertedouro apresentam um grande desgaste na pintura de proteção anticorrosiva, permitindo a oxidação da estrutura. Se recomenda que seja realizado a manutenção da pintura da estrutura das comporta para corrigir a proteção anticorrosiva;
- A estanqueidade das comportas estão em condições aceitáveis para sua condição operacional. Durante a inspeção, foi esclarecido pela Kinross que as vedações atualmente instaladas nas comportas segmento são originais, ou seja, vedações da época da construção da Usina. Se recomenda considerar no

planejamento da manutenção das comportas a substituição das vedações, pois a vida útil das vedações segundo os fabricantes é de 5 (cinco) anos pós a fabricação;

- A instalação de uma unidade de bombeamento a diesel próximo das unidades hidráulica como uma mitigação de risco para evitar a inoperacionalidade do vertedouro no caso de falta de energia se trata de uma boa prática. Como esta unidade está posicionada fora da bacia de contenção da unidade hidráulica, se recomenda implementar uma barreira de contenção e/ou canaletas para coletar um possível vazamento de óleo da unidade de bombeamento e canalizar para bacia de contenção da unidade hidráulica. Além disso também se recomenda corrigir a proteção para ter uma perfeita montagem no tubo de exaustão;
- A tubulação de exaustão dos gases da unidade de bombeamento a diesel foi montada engastando na estrutura civil da sala de comando e travado o sistema de amortecimento com a fita de isolamento térmico para evitar possível acidente devido a temperatura da tubulação. Se recomenda que a tubulação tenha um grau de liberdade para eliminar o engastamento nas suas extremidades, ou seja, se recomenda a eliminar a fita de isolamento do amortecedor de vibração próximo da unidade de bombeamento e que seja alterado a concretagem da tubulação de exaustão na parede da sala de comando para eliminar o engastamento;
- Analisando a pressão de abertura da comporta de projeto versus medido na usina, se observa que os esforços de acionamento da comporta estão dentro dos valores previstos no projeto.

Com relação a velocidade de abertura e fechamento da comporta, segundo desenho 1027/02-4H-DE-1416 revisão 0, as velocidades de abertura e fechamento da comporta é 0,3 metros/minuto. Se considerarmos uma abertura de 9,5 metros, o tempo de abertura e fechamento da comporta deveria ser 31 minuto e 40 segundo, ou seja, os tempos observados na manobra estão diferentes do especificado no projeto. Com relação ao documento 600-MOPH-CH-CAC-001 os tempos de manobra da comporta segmento 2 definem uma velocidade de abertura bem acima do previsto no projeto, próximo de 0,76 metro/minuto. Se recomenda avaliar as velocidades que as comportas segmento devem operar na abertura e fechamento em conjunto com a lei de manobra do vertedouro.

10 ANÁLISE DOS SISTEMAS DE ALÍVIO DE SUBPRESSÃO E DRENAGEM INTERNA

As vazões dos Drenos instalados nas fundações da barragem e de eventuais infiltrações, são controladas com as unidades de MV totalizadores, que estão localizados nas galerias de drenagem, nas proximidades dos Poços de Drenagem. O sistema de drenagem nas estruturas de concreto da barragem, apesar de possuir Drenos com profundidades diferentes das projetadas, apresenta-se em boas condições de funcionamento.

Essa afirmação é baseada nas leituras dos MVs e PZs instalados nas estruturas de concreto. Estes instrumentos se mantêm estáveis, com pequenas variações sazonais, e apresentam leituras dentro da condição de normalidade (limites de projeto), sem indícios de aumento da subpressão ao longo do tempo ou de alterações na percolação nas fundações.

10.1 LIMPEZA E REPERFURAÇÃO DOS DRENOS

Entre fevereiro e março de 2022 foi realizada a limpeza e reperfuração dos drenos da UHE Caçu. Os trabalhos seguiram o estabelecido na Especificação Técnica 600-CAC-ET-IST-005-21, elaborada pela Fractal Engenharia. Na ocasião, foram escolhidos drenos específicos para a realização de reperfuração, em função de sua localização, situação geral da região em que estão instalados e grau de importância.

As Figura 2 a Figura 4 ilustram graficamente as profundidades obtidas antes e após as atividades, comparadas às profundidades de projeto. As figuras foram obtidas no documento ISB-71-GL-701-Q-001-RT, referente ao Relatório de Serviços de Limpeza e Desobstrução de Drenos de Alívio de Fundação, elaborado pela ISB em 03/10/2022.

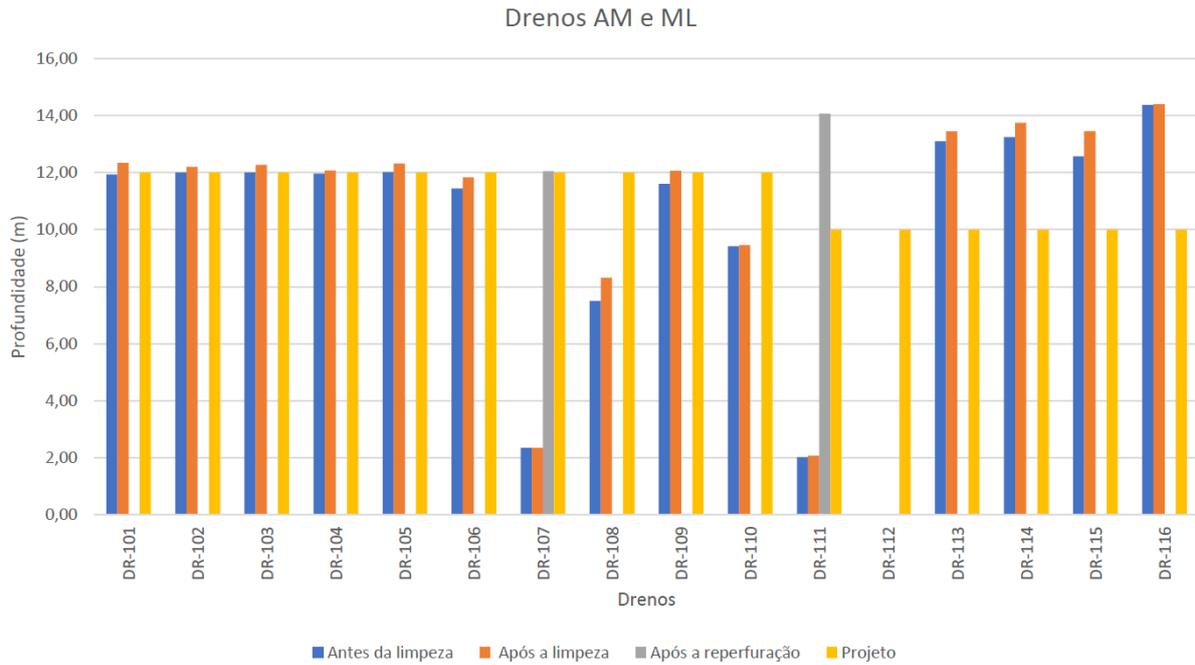


Figura 2. Comparativo das profundidades dos drenos dos blocos da AM e ML.

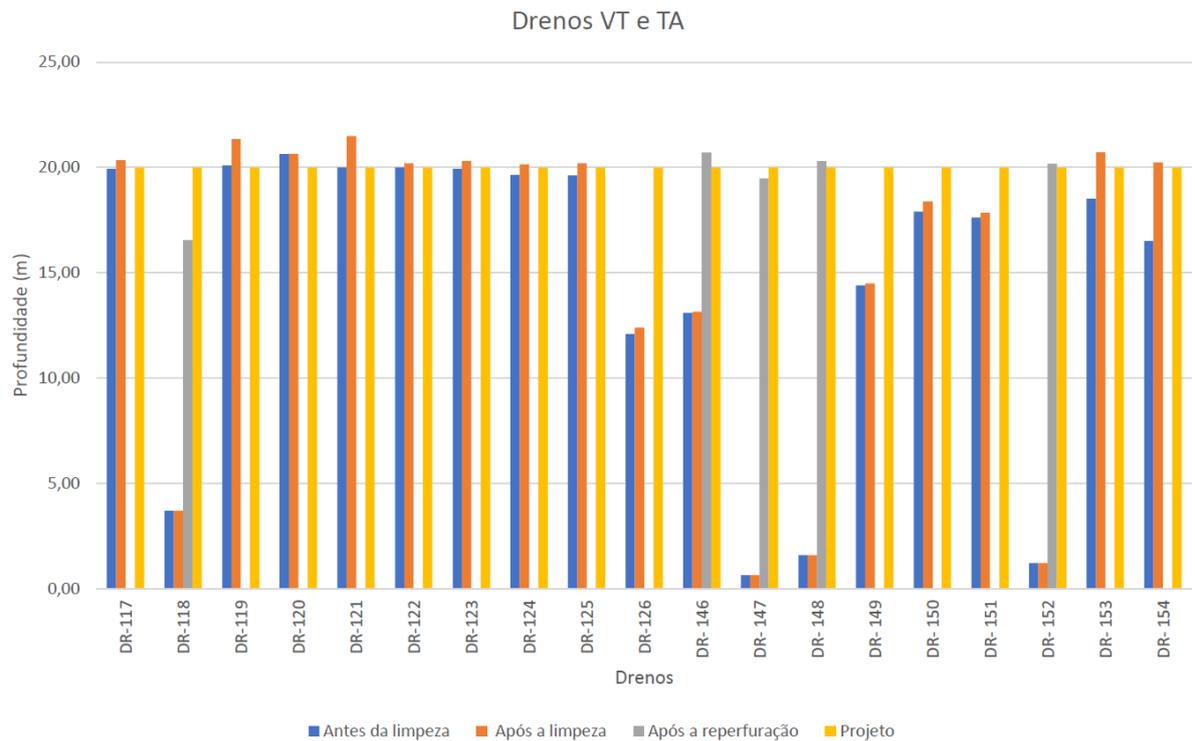


Figura 3. Comparativo das profundidades dos drenos dos blocos do VT e TA.

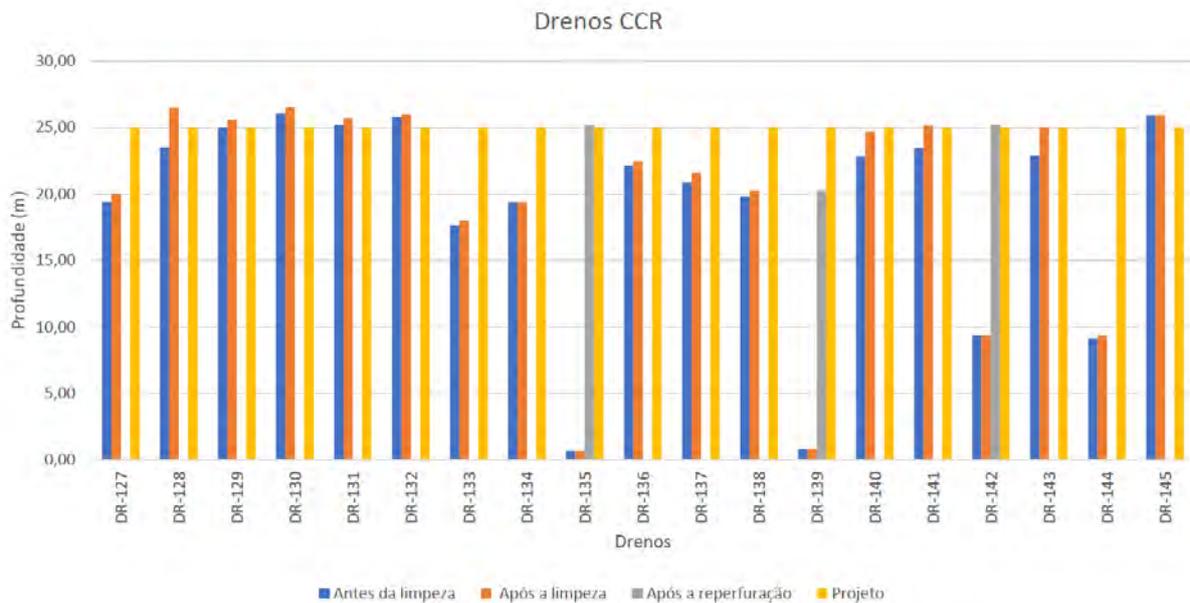


Figura 4. Comparativo das profundidades dos drenos dos blocos do CCR.

Conforme pode ser observado, foram obtidos resultados satisfatórios com relação ao aprofundamento dos drenos após as campanhas de limpeza e reperfuração. Regiões que antes apresentavam diversos drenos tidos como obstruídos, hoje apresentam alívio de subpressão.

Após os serviços realizados pela ISB, a instrumentação instalada na UHE Caçu apresentou variações significativas, que podem indicar correlação com a melhora da situação da drenagem. A exemplo temos os PZ-104, PZ-103 e PZ-112, instalados na Tomada d'Água que apresentaram variações tanto de queda de pressão, quanto aumento da mesma, após a campanha de reperfuração dos drenos (Figura 5).

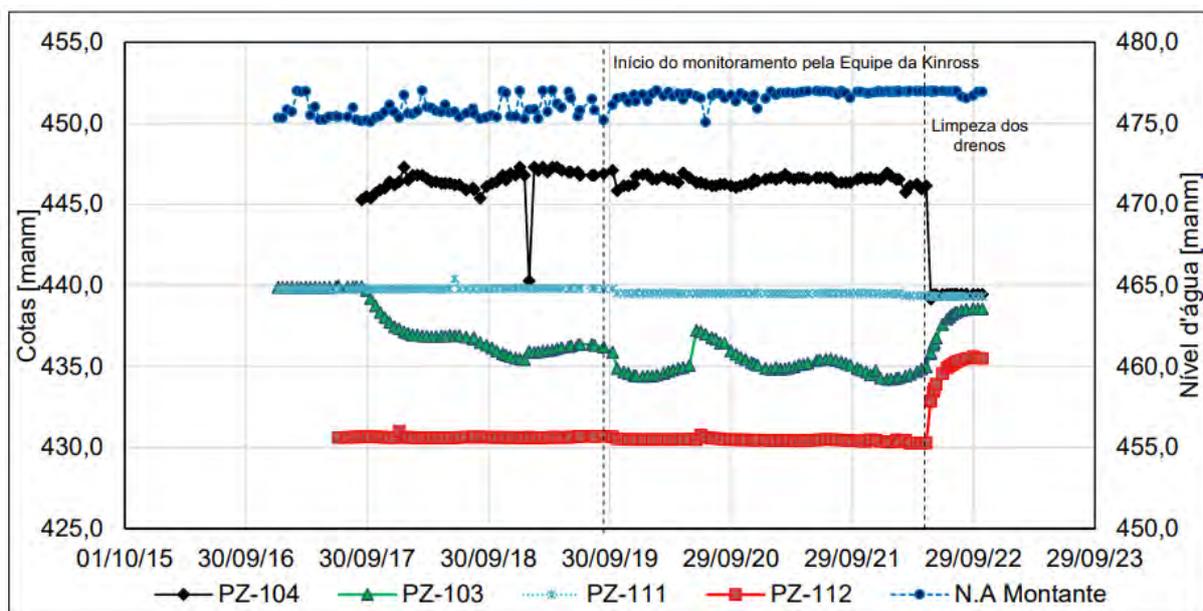


Figura 5. Comportamento histórico dos PZs instalados na TA.

A situação observada no PZ-104, que teve suas pressões reduzidas, pode ser explicada pelo instrumento ter alguma conectividade com as descontinuidades que "abastecem" os drenos. Quando estes foram reperfurados ou desobstruídos, as pressões dos instrumentos foram aliviadas, favorecendo as reduções em suas leituras. Os PZ-103 e PZ-112, que tiveram suas pressões aumentadas, têm uma explicação exatamente contrária à dos instrumentos que reduziram as pressões. Com a reperfuração dos drenos, descontinuidades que se encontravam fechadas ou com uma permeabilidade muito baixa, foram ativadas (pela vibração da perfuratriz ou pela injeção de água), liberando os fluxos interrompidos no meio fissural, mas agora ativados, proporcionando um aporte de água e conseqüente aumento de pressão. A situação, portanto, não caracteriza risco à segurança da barragem.

Outras regiões da barragem também apresentaram comportamentos semelhantes aos ilustrados no Figura 5, com alterações de comportamento após as campanhas de limpeza e reperfuração dos drenos. A situação é considerada normal e tem sido acompanhada mensalmente pela consultoria.

11 REVISÃO DE INSTRUMENTAÇÃO

Dentre os instrumentos presentes e operacionais na UHE Caçu, estão: piezômetros de tubo, piezômetros elétricos, marcos superficiais, medidores de vazão, medidores triortogonais de junta, extensômetros de haste e medidores de nível d'água. Ao todo, nas estruturas de concreto e de terra e enrocamento, foram instalados 158 instrumentos de monitoramento e, destes, 133 encontram-se operacionais, 8 foram substituídos, 16 estão danificados e/ou obstruídos e 1 foi desativado.

A TABELA 11 apresenta os instrumentos operantes em cada estrutura.

TABELA 11. INSTRUMENTOS INSTALADOS E OPERANTES NA UHE CAÇU

Estrutura	Instrumentos	Sigla	Qnt. Operacional	Periodicidade da Leitura
Barragem de Terra – Margem Direita	Marco Superficial	MS	2	Semestral
	Medidor de Vazão – tipo Triangular	MV	3	Quinzenal
	Medidor de Nível d'Água	NA	1	Quinzenal
	Piezômetro de Tubo	PZ	6	Quinzenal
Barragem de Terra – Margem Esquerda	Marco Superficial	MS	4	Semestral
	Medidor de Vazão – tipo Triangular	MV	2	Quinzenal
	Medidor de Nível d'Água	NA	1	Quinzenal
	Piezômetro de Tubo	PZ	32	Quinzenal
Estruturas de Concreto	Extensômetro de Haste	EH	5	Quinzenal
	Medidores Triortogonais	MT	15	Quinzenal
	Medidor de Vazão – tipo Triangular	MV	10	Quinzenal
	Piezômetro de Tubo	PZ	44	Quinzenal
	Piezômetro Elétrico	PE	8	Quinzenal

Os instrumentos são lidos com uma periodicidade quinzenal ou semestral (no caso dos MSs) e as leituras são repassadas à equipe da Fractal Engenharia e Sistemas, para análise das informações. Mensalmente, é elaborado um Relatório de Validação de Auscultação, que faz uma análise dos dados de instrumentação e recomenda melhorias necessárias. A periodicidade das leituras e da emissão dos relatórios é considerada adequada e segue boas práticas do setor.

Em 2021, foi realizada uma verificação das cotas de fundo, de topo e da profundidade dos piezômetros e medidores de nível d'água, localizados nas estruturas da UHE Caçu. Foram constatadas divergências entre o projeto e a execução, que foram corrigidas nas planilhas eletrônicas utilizadas para cálculo das cotas piezométricas e níveis de água e também nos desenhos da instrumentação.

Também em 2021, foram instaladas células elétricas no espaço confinado (galeria subterrânea abaixo da CF), para a facilitar o monitoramento das subpressões medidas na região, que antes era realizado anualmente, devido à dificuldade em acessar a região. As células foram instaladas na tubulação dos antigos PZs da região.

Foi realizada uma inspeção com boroscópio nos piezômetros de tubo e nos medidores de nível d'água, localizados nas barragens de terra e enrocamento, a fim de compreender e verificar a condição em que se encontram após 10 anos de operação. A TABELA 12 a seguir apresenta as principais conclusões a respeito dos instrumentos verificados.

TABELA 12. RESULTADOS DAS INVESTIGAÇÃO DE BOROSCOPIA NOS PZS.

Local	PZ	Profundidade [m]	Resultado Boroscopia	Comentários Fractal
BTMD	PZ-8	5,1	Sem anormalidade	-
	PZ-7	5,1	Danificado em 5,50 m	Tempo de dissipação não corresponde com o local de instalação do instrumento. Aparenta estar na fundação e não no tapete. Está danificado na cota do PZ-8.
	PZ-6	8,7	-	-
	PZ-5	8,5	-	-
	PZ-4	5,4	-	-
	PZ-3	6,4	-	-
	PZ-2	7,7	Água turva – sedimentos depositados no fundo do instrumento	Aparentemente normal.
	PZ-1	11,6	Normal	-
BTME	PZ-241	22,2	Água turva, instrumento sem sinais de danos	-
	PZ-240	17,8	Sem anormalidade	-
	PZ-239	30,1	Sem anormalidade	-
	PZ-238	12,3	Sem anormalidade	-
	PZ-237	17,8	Entrada de água obstruída por sedimentos	Tempo de resposta adequado para a fundação. Apesar do indício de obstrução, o histórico apresenta variação com o NA de jusante e pressões similares aos

Local	PZ	Profundidade [m]	Resultado Boroscopia	Comentários Fractal
				PZ 235 e 236, instalados na mesma região. Comportamento aparentemente normal.
	PZ-236	21,8	Sem anormalidade	-
	PZ-231	21,8	Filmagem prejudicada devido à água turva, não foi identificadas anormalidades	-
	PZ-230	17,8	Filmagem prejudicada devido à água turva, não foi identificadas anormalidades	-
	PZ-229	13,8	Sem anormalidade	-
	PZ-228	28,8	Dobra no tubo na profundidade de 24,60m, não foi possível continuar a filmagem	Aparentemente normal. Apesar dessa dobra, o pio desce até o final e o PZ parece estar em boas condições. As pressões e o TD são coerentes com a posição de instalação.
	PZ-227	26,8	Tubo parcialmente danificado com 8,00m e curva com 24,50, não foi possível chegar a profundidade final do instrumento	Aparentemente normal. Apesar dessa dobra, o pio desce até o final e o PZ parece estar em boas condições. As pressões e o TD são coerentes com a posição de instalação.
	PZ-226	33,8	Próximo da profundidade 22,00m o tubo apresenta sinais de movimentação, não foi possível passar a câmera.	Aparentemente normal. O TD e a pressão são condizentes com a posição de instalação (junta-falha).
	PZ-225	17,2	Próximo da profundidade 12,00m o tubo apresenta sinais de movimentação, não foi possível passar a câmera.	Aparentemente normal. TD coerente p/ instrumento no tapete. Comportamento do instrumento variando conforme NA jusante.
	PZ-224	23,6	Próximo da profundidade 11,00m o tubo apresenta sinais de movimentação, não foi possível passar a câmera.	TD coerente p/ instrumento na junta-falha. Comportamento do instrumento variando conforme NA jusante. Aparentemente normal.
	PZ-223	19,8	Sinais de movimentação no instrumento, próximo 11,00m profundidade.	Comportamento das pressões variando conforme NA jusante e indicando perda de carga entre este instrumento e o PZ 225. Aparentemente normal.
	PZ-222	19,24	Próximo de 19m o tubo teve um leve esmagamento, reduzindo seu diâmetro e impedindo a câmera de passar.	As pressões monitoradas estão coerentes com a posição de instalação. O instrumento se encontra, aparentemente em boas condições e a célula estaria instalada na junta-falha. <u>Recomenda-se a realização de teste de recuperação para confirmar o tempo de resposta do instrumento.</u>
	PZ-221	22,3	Tubo danificado/obstruído próximo à profundidade 22,00.	As pressões monitoradas estão coerentes com a posição de instalação. O instrumento se encontra, aparentemente em boas condições e a célula estaria instalada na fundação.

Local	PZ	Profundidade [m]	Resultado Boroscopia	Comentários Fractal
				<u>Recomenda-se a realização de teste de recuperação para confirmar o tempo de resposta do instrumento.</u>
	PZ-220	22,3	Tubo sofreu dobramento com 22,30m equipamento de perfilagem não ultrapassou esta profundidade.	As pressões monitoradas estão coerentes com a posição de instalação. O instrumento se encontra, aparentemente em boas condições e a célula estaria instalada próximo ao tapete. <u>Recomenda-se a realização de teste de recuperação para confirmar o tempo de resposta do instrumento.</u>
	PZ-214	17,5	Sem anormalidade	Aparentemente normal. De acordo com o TD, parece estar invertido com o PZ-213, porém comprimentos e pressões monitoradas não confirmam (pressão PZ-214 > PZ-213). <u>Recomenda-se a realização de teste de recuperação para confirmar o tempo de resposta do instrumento.</u>
	PZ-213	12,75	Sem anormalidade	<u>Recomenda-se a realização de teste de recuperação para confirmar o tempo de resposta do instrumento.</u>
	PZ-211	23,9	Sem anormalidade	-
	PZ-209	18,8	Instrumento danificado com 18,80m	Instrumento considerado duvidoso. Recomenda-se que a sua substituição seja avaliada na revisão da especificação técnica de reinstrumentação.
	PZ-208	15,8	Sem anormalidade	<u>Recomenda-se a realização de teste de recuperação para confirmar o tempo de resposta do instrumento.</u>

Com base nos resultados da investigação com boroscópio, nos dados lidos quinzenalmente nos instrumentos e nas condições encontradas em campo, foram propostas melhorias na instrumentação atual da UHE Caçu. As melhorias citadas são apresentadas de forma simplificada na TABELA 13 a seguir e podem ser melhor entendidas na Especificação Técnica de Reinstrumentação, apresentada no ANEXO 5. Além dos 04 (quatro) Piezômetros Elétricos indicados na tabela para o bloco do Muro de Ligação, também é recomendada a instalação de mais 02 (dois) de Piezômetros Elétricos, totalizando 06 (seis) Piezômetros Elétricos no bloco do Muro de Ligação.

TABELA 13. RESUMO DA REINSTRUMENTAÇÃO PROPOSTA PARA A UHE CAÇU - UCA.

UCA / Seção	Estrutura/Local	Afast. (m)	Local / Piso	OBS
BTME / Est. 25	Fundação/Aterro	19+00	Berma 469,70 manm	(MR) MM-201
Bloco MLC	Crista – Jusante	-	-	TM-01
A' / Est. 4+18,30	Terreno Jusante	20,00	TJ 475 manm	NA-2
B' / Est. 6+19,00 (1)	Maciço Montante	-2,50	Crista 480 manm	NA-11
B' / Est. 6+19,00	Terreno Jusante	33,50	TJ 473 manm	NA-3
C' / Est. 8+4,00	Terreno Jusante	42,00	TJ 468 manm	NA-4
A' (ME) / Est. ~ 50	Terreno Jusante	25,00	TJ 470 manm	NA 202
B' (ME) / Est. (PZ-205)	Terreno Jusante	50,00	TJ 467 manm	NA 203
C' (ME) / Est. (PZ-210)	Terreno Jusante	68,00	TJ 457 manm	NA 204
A' / Est. 4+18,30	Tapete Horizontal	9,82	Berma 476,50 manm	PE-07
A' / Est. 4+18,30	Fundação	9,80	Berma 476,50 manm	PE-08
B' / Est. 7+8,90	Tapete Horizontal	5,30	Talude 478 manm	PE-03
B' / Est. 7+8,90	Tapete Horizontal	13,40	Berma 474 manm	PE-04
B' / Est. 7+8,90	Fundação	5,30	Talude 478 manm	PE-05
MLC	Contato Concreto x Rocha	0,70	Gal. 458,51 manm	PE-151
MLC	Descontinuidade	0,70	Gal. 458,51 manm	PE-152
MLC	Descontinuidade	15,00	Piso 458 manm	PE-153
MLC	Junta Falha 435	15,00	Piso 458 manm	PE-154
B' (ME) / Estaca 41+6,63	Fundação	23,92	Berma 466,80 manm	PE-204
B' (ME) / Estaca 41+6,63	Fundação	23,92	Berma 466,80 manm	PE-205
B' (ME) / Estaca 41+6,63	Tapete Horizontal	7,83	Talude 477 manm	PE-207
C' (ME) / Estaca 36+16,23	Tapete Horizontal	20,63	Berma 469,70 manm	PE-208
C' (ME) / Estaca 36+16,23	Fundação	20,63	Berma 469,70 manm	PE-209
G' (ME) Estaca 33+9,80	Tapete Horizontal	44,60	Berma 456,80 manm	PE-213
G' (ME) Estaca 33+9,80	Fundação	44,60	Berma 456,80 manm	PE-214

Ainda com relação à instrumentação, em 2022, foi realizada uma atualização na análise estatística de instrumentação, conforme documento no ANEXO 5. A atualização se fez necessária, devido às alterações das cotas de topo dos instrumentos citados e, nela também foram melhorados procedimentos de cálculo que resultaram em uma faixa de variação compreendida entre o Nível de Referência Inferior estatístico (NRI) e Nível de Referência Superior estatístico (NRS). Os limites estatísticos são mais uma camada de segurança utilizada na análise da instrumentação e são relacionados aos limites de normalidade histórica da série temporal. Assim, quando o instrumento se encontra dentro da faixa estatística

estabelecida, entende-se que seu comportamento está de acordo com seu histórico de dados, se tratando de um importante marco para a análise da instrumentação da UHE Cacçu. O estudo englobou 118 instrumentos de monitoramento. Os valores de referência são utilizados nas análises mensais e anuais do comportamento da instrumentação e seguem apresentados na TABELA 14 a seguir.

TABELA 14. RESUMO DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA.

Inst.	Informação	NRS H1	NRI H1	NRS H2	NRI H2
EH-101	CF/TA	0,06	0,00	-	-
EH-102	CF/TA	0,09	-0,07	-	-
EH-103	VT Bloco-1	0,09	-0,37	0,03	-0,24
EH-104	VT Bloco-2	-0,04	-0,19	0,08	-0,01
EH-105	CCR Bloco-6	0,44	-0,09	0,06	-0,19

Inst.	Informação	NRS	NRI
NA-01	-	-	-
NA-201	41+6,64 Aterro	470,68	469,23

Inst.	Informação	NRS
MV-1	9+3,350 Pé da barragem	3,52
MV-02	9+8,081 Entrada da CF	0,19
MV-201	41+2,192 Pé da barragem	1,67
MV-202	36+12,060 Pé da barragem	15,21
MV-101	Galeria sucção	0,03
MV-102	Galeria sucção	0,36
MV-104	Galeria sucção	0,41
MV-107	Galeria drenagem VT	0,14
MV-108	Galeria drenagem VT	0,01
MV-110	Galeria drenagem VT	0,14
MV-111	Galeria drenagem VT	0,29
MV-114	Galeria drenagem VT	5,68
MV-115	Galeria de Drenagem – ML	16,71

Inst.	Informação	NRS x	NRI x	NRS y	NRI y	NRS z	NRI z
MT-101	Galeria AM-01/AM-02	0,20	-0,14	0,10	-0,06	0,12	-0,08
MT-102	TA-01/02	0,15	-0,11	0,12	-0,07	0,14	-0,09
MT-106	CCR-01/CCR-02	0,29	-0,46	0,09	-0,07	0,11	-0,08
MT-107	CCR-02/CCR-03	0,08	-0,08	0,22	-0,10	0,11	-0,04
MT-108	CCR-03/CCR-04	0,10	-0,01	0,24	-0,04	0,05	-0,06
MT-109	CCR-04/CCR-05	0,08	-0,10	0,04	-0,04	0,06	-0,04
MT-110	CCR-05/CCR-06	0,04	-0,04	0,04	-0,04	0,04	-0,06

Inst.	Informação	NRS x	NRI x	NRS y	NRI y	NRS z	NRI z
MT-111	CF-01/CF-02	0,40	-0,82	0,03	-0,06	0,08	-0,08
MT-112	VT/CCR Blocos 2-1	1,02	-0,48	0,00	-0,29	0,18	-0,23
MT-113	ML/VT Blocos MLX1	1,82	-0,91	0,39	-0,54	0,10	-0,19
MT-114	VT Blocos 1-2	0,38	-0,27	0,04	-0,22	0,01	-0,26

Inst.	Informação	NRS x	NRI x	NRS y	NRI y	NRS z	NRI z
MT-101	Galeria AM-01/AM-02	0,20	-0,14	0,10	-0,06	0,12	-0,08
MT-102	TA-01/02	0,15	-0,11	0,12	-0,07	0,14	-0,09
MT-106	CCR-01/CCR-02	0,29	-0,46	0,09	-0,07	0,11	-0,08
MT-107	CCR-02/CCR-03	0,08	-0,08	0,22	-0,10	0,11	-0,04
MT-108	CCR-03/CCR-04	0,10	-0,01	0,24	-0,04	0,05	-0,06
MT-109	CCR-04/CCR-05	0,08	-0,10	0,04	-0,04	0,06	-0,04
MT-110	CCR-05/CCR-06	0,04	-0,04	0,04	-0,04	0,04	-0,06
MT-111	CF-01/CF-02	0,40	-0,82	0,03	-0,06	0,08	-0,08
MT-112	VT/CCR Blocos 2-1	1,02	-0,48	0,00	-0,29	0,18	-0,23
MT-113	ML/VT Blocos MLX1	1,82	-0,91	0,39	-0,54	0,10	-0,19
MT-114	VT Blocos 1-2	0,38	-0,27	0,04	-0,22	0,01	-0,26

Inst.	Informação	NRS	NRI
PZ-1	8+9,27 Maciço	471,07	470,66
PZ-2	8+9,27 Maciço	475,30	474,79
PZ-3	7+10,16 Filtro	476,66	470,60
PZ-4	7+9,93 Filtro	470,81	470,76
PZ-5	7+9,93 Fundação	470,69	470,46
PZ-6	7+19,96 Fundação	474,47	473,52
PZ-7	4+19,31 Filtro	474,35	473,47
PZ-8	4+19,31 Fundação	474,35	473,46
PZ-201	46+4,80 Filtro	470,58	470,56
PZ-202	46+4,80 Contato	474,12	464,09
PZ-203	46+5,06 Contato	468,93	467,74
PZ-204	41+6,63 Filtro	463,50	463,42
PZ-205	41+6,63 Contato	463,21	462,84
PZ-206	41+6,93 Contato	462,62	462,29
PZ-208	36+16,46 Filtro	456,16	455,94
PZ-209	36+16,46 Fundação	456,20	455,97
PZ-210	36+16,91 Fundação	453,41	453,28
PZ-211	33+10,17 Filtro	458,64	458,00
PZ-212	33+10,17 Fundação	457,00	455,94
PZ-213	33+10,01 Filtro	450,32	448,98

Inst.	Informação	NRS	NRI
PZ-214	33+10,01 Fundação	450,38	449,21
PZ-215	29+10,11 Filtro	456,68	455,20
PZ-216	29+10,11 Fundação	454,08	453,21
PZ-217	29+9,92 Filtro	453,10	451,91
PZ-218	29+9,92 Fundação	452,79	451,65
PZ-219	29+9,92 Fundação	451,77	450,42
PZ-220	24+19,17 Filtro	449,56	448,31
PZ-221	24+19,71 Fundação	451,84	450,54
PZ-222	24+19,71 Fundação	452,18	450,79
PZ-223	25+0,15 Filtro	449,85	448,56
PZ-224	25+0,15 Fundação	452,23	450,29
PZ-225	25+0,15 Fundação	449,68	448,27
PZ-226	23+9,51 Filtro	451,71	450,21
PZ-227	23+9,51 Fundação	449,86	448,52
PZ-228	23+9,51 Fundação	450,19	448,83
PZ-229	23+10,05 Filtro	449,59	448,33
PZ-230	23+10,05 Fundação	449,72	448,42
PZ-231	23+10,05 Fundação	449,76	448,55
PZ-233	21+11,43 Fundação	451,62	450,37
PZ-234	21+11,43 Fundação	451,72	450,44
PZ-235	21+12,05 Fundação	449,77	448,41
PZ-236	21+12,05 Fundação	449,92	448,69
PZ-237	21+12,05 Fundação	449,83	448,59
PZ-238	20+11,63 Maciço	472,90	468,82
PZ-239	20+11,63 Maciço	465,90	460,61
PZ-240	20+13,42 Fundação	449,67	448,41
PZ-241	20+13,42 Fundação	449,88	448,60
PZ-242	20+13,42 Fundação	461,54	454,56

Inst.	Informação	NRS	NRI
PZ-101	Contato Concreto/Rocha	446,65	445,43
PZ-102	Rocha	431,92	430,85
PZ-103	Contato Concreto/Rocha	437,51	432,94
PZ-104	Rocha	447,17	445,86
PZ-105	Contato Concreto/Rocha	440,51	439,55
PZ-106	Rocha	439,31	438,39
PZ-107	Contato Concreto/Rocha	439,34	439,05
PZ-108	Rocha	440,38	439,45
PZ-109	Contato Concreto/Rocha	450,40	437,19

Inst.	Informação	NRS	NRI
PZ-110	Rocha	441,61	437,54
PZ-111	Contato Concreto/Rocha	439,54	439,48
PZ-112	Rocha	430,64	430,31
PZ-113	Contato Concreto/Rocha	439,82	439,40
PZ-114	Rocha	429,64	429,43
PZ-115	Contato Concreto/Rocha	440,15	437,22
PZ-116	Rocha	441,20	439,69
PZ-125	Contato Concreto/Rocha	461,34	461,34
PZ-126	Contato Concreto/Rocha	459,88	459,43
PZ-127	Contato BVA/BD	462,20	461,99
PZ-128	Contato BVA/BD	460,96	460,21
PZ-129	Contato Concreto/Rocha	452,17	451,51
PZ-130	Contato Concreto/Rocha	451,31	449,60
PZ-131	Contato BVA/BD	454,27	453,77
PZ-132	Contato BVA/BD	453,50	453,09
PZ-133	Contato Concreto/Rocha	454,41	453,62
PZ-134	Contato Concreto/Rocha	452,68	451,42
PZ-135	Contato BVA/BD	453,11	452,14
PZ-136	Contato BVA/BD	451,48	450,13
PZ-137	Contato Concreto/Rocha	455,82	455,29
PZ-138	Contato Concreto/Rocha	455,29	454,71
PZ-139	Contato BVA/BD	455,15	454,98
PZ-140	Contato BVA/BD	455,05	454,89
PZ-141	Contato Concreto/Rocha	454,79	454,27
PZ-142	Contato Concreto/Rocha	454,78	454,03
PZ-143	Contato BVA/BD	455,21	455,10
PZ-144	Contato BVA/BD	451,37	450,16
PZ-148	Fundação	469,15	467,01
PZ-149	Fundação	473,90	470,50
PZ-150	Fundação	456,04	454,88

Em 2022, também foi realizada a revisão dos estudos de estabilidade global das estruturas de terra e enrocamento e das estruturas de concreto da UHE Caçu e a revisão dos limites dos piezômetros de tubo e dos instrumentos medidores de nível d'água, devido às alterações das cotas de topo dos instrumentos. Os documentos que contemplam os estudos estão presentes nos anexos deste documento. As sínteses desses estudos estão contempladas nos itens 0 e 12.2.

Os níveis de atenção e alerta revisados seguem resumidos nas TABELA 15 e TABELA 16 a seguir, e são utilizados nas análises mensais e anuais da instrumentação.

TABELA 15. RESUMO DOS LIMITES DE ATENÇÃO E ALERTA DOS PZS DA BTMD E DA BTME.

Seção	Estaca	Instrumento	ATENÇÃO	ALERTA
03-MD	8+9,29	PZ-1	475,02	476,23
	8+9,29	PZ-2	475,28	475,83
02-MD	7+0,12	PZ-3	474,51	475,01
	7+0,12	PZ-4	471,31	471,87
	7+0,12	PZ-5	471,18	471,84
01-MD	5+0,0	PZ-6	474,59	475,66
	5+0,0	PZ-7	474,51	475,02
	5+0,0	PZ-8	474,51	475,02
12-ME	46+3,95	PZ-201	472,07	472,57
	46+4,75	PZ-202	470,63	471,88
	46+4,90	PZ-203	470,08	471,38
11-ME	41+6,50	PZ-204	464,05	464,63
	41+6,50	PZ-205	463,91	464,73
	41+6,78	PZ-206	463,25	464,37
	41+6,40	PZ-207	465,89	466,39
10-ME	36+16,23	PZ-208	457,04	457,64
	36+16,23	PZ-209	457,01	457,72
	36+16,76	PZ-210	454,78	455,95
09-ME	33+9,96	PZ-211	459,33	460,28
	33+9,96	PZ-212	457,73	461,89
	33+9,96	PZ-213	450,64	451,11
	33+9,80	PZ-214	451,23	452,74
08-ME	29+9,93	PZ-215	457,78	462,05
	29+9,93	PZ-216	457,85	460,85
	29+9,93	PZ-217	454,10	458,20
	29+9,93	PZ-218	454,79	457,05
	29+9,93	PZ-219	454,85	456,96
07-ME	24+19,50	PZ-220	454,53	455,94
	24+19,50	PZ-221	454,60	456,01
	24+19,50	PZ-222	454,62	456,03
	25+0,15	PZ-223	452,84	455,84
	25+0,15	PZ-224	453,07	456,37
	25+0,15	PZ-225	453,07	455,57
06-ME	23+9,28	PZ-226	452,47	456,07
	23+9,28	PZ-227	452,91	455,15
	23+9,28	PZ-228	452,77	455,51
	23+9,92	PZ-229	451,53	453,04
	23+9,92	PZ-230	451,31	453,82

Seção	Estaca	Instrumento	ATENÇÃO	ALERTA
	23+9,92	PZ-231	451,08	454,28
05-ME	21+11,30	PZ-233	452,54	455,45
	21+11,30	PZ-234	452,33	453,34
	21+11,30	PZ-235	451,38	453,22
	21+11,30	PZ-236	450,78	454,21
	21+11,98	PZ-237	451,12	453,68
04-ME	20+11,66	PZ-238	472,00	472,77
	20+11,66	PZ-239	466,29	471,73
	20+13,56	PZ-240	450,46	453,00
	20+13,56	PZ-241	450,08	453,42

TABELA 16. RESUMO DOS LIMITES DE ATENÇÃO E ALERTA DOS PZS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.

Localização	Instrumentos (Nº Atual)	Cota Piezométrica Limite (m)	
		Atenção	Alerta
CF/TA	PZ-1 (PZ-101)	466,50	472,15
	PZ-2 (PZ-102)	466,50	472,15
	PZ-3 (PZ-103)	466,50	472,15
	PZ-4 (PZ-104)	466,50	472,15
	PZ-5 (PZ-105)	466,50	472,15
	PZ-6 (PZ-106)	466,50	472,15
	PZ-7 (PZ-107)	466,50	472,15
	PZ-8 (PZ-108)	466,50	472,15
	PZ-9 (PZ-109)	463,50	468,15
	PZ-10 (PZ-110)	458,20	461,10
	PZ-11 (PZ-111)	463,50	468,15
	PZ-12 (PZ-112)	458,20	461,10
	PZ-13 (PZ-113)	463,50	468,15
	PZ-14 (PZ-114)	458,20	461,10
	PZ-15 (PZ-115)	463,50	468,15
	PZ-16 (PZ-116)	458,20	461,10
	PZ-17 (PZ-117)*	436,00	449,40
	PZ-18 (PZ-118)*	436,00	449,40
	PZ-19 (PZ-119)*	436,00	449,40
	PZ-20 (PZ-120)*	436,00	449,40
	PZ-21 (PZ-121)*	439,95	449,35
	PZ-22 (PZ-122)*	439,95	449,35
	PZ-23 (PZ-123)*	439,95	449,35
	PZ-24 (PZ-124)*	439,95	449,35
AM - Bl. 3	PZ-25-3BP (PZ-125)	468,35	470,85
	PZ-26-3BP (PZ-126)	468,35	470,85
	PZ-27-3BP (PZ-127)	464,90	466,50
	PZ-28-3BP (PZ-128)	462,20	463,25
VT - Bl. 1 e 2	PZ-29-VT (PZ-129)	467,70	472,65
	PZ-30-VT (PZ-130)	467,70	472,65
	PZ-31-VT (PZ-131)	467,70	472,65
	PZ-32-VT (PZ-132)	467,70	472,65
CCR - Bl. 4	PZ-33-4BP (PZ-133)	466,10	471,00
	PZ-34-4BP (PZ-134)	466,10	471,00
	PZ-35-4BP (PZ-135)	459,70	463,30
	PZ-36-4BP (PZ-136)	457,90	460,90
CCR - Bl. 5	PZ-37-5BP (PZ-137)	466,15	471,70
	PZ-38-5BP (PZ-138)	466,15	471,70
	PZ-39-5BP (PZ-139)	459,00	462,25
	PZ-40-5BP (PZ-140)	457,05	459,70

Localização	Instrumentos (Nº Atual)	Cota Piezométrica Limite (m)	
		Atenção	Alerta
CCR - Bl. 6	PZ-41-6BP (PZ-141)	466,15	471,70
	PZ-42-6BP (PZ-142)	466,15	471,70
	PZ-43-6BP (PZ-143)	459,00	462,25
	PZ-44-6BP (PZ-144)	457,05	459,70
ML	PZ-45 – BL (PZ-148)	469,50	470,00
	PZ-46 – BL (PZ-149)	473,50	475,30
	PZ-47- BL (PZ-150)	473,50	475,30

12 REVISÃO DE ESTABILIDADE

O item 12.1, a seguir, apresenta uma síntese da análise de estabilidade realizada para a barragem de terra e enrocamento da UHE Caçu.

O item 12.2 apresenta uma síntese da análise de estabilidade realizada para as estruturas de concreto da UHE Caçu.

A Declaração de Condição de Estabilidade da usina está apresentada no ANEXO 3.

12.1 ANÁLISE DE ESTABILIDADE - BARRAGEM DE TERRA

Em maio de 2022, foi realizada a Revisão do Estudo de Estabilidade das Estruturas de Terra da UHE Caçu, que está apresentada no ANEXO 5.

O estudo avaliou 3 seções localizadas na Barragem de Terra da Margem Direita. As seções escolhidas levaram em consideração a condição geométrica e a localização dos Piezômetros de Tubo e dos Medidores de Nível D'Água. As 3 seções selecionadas foram:

- BTMD:
 - Estaca 5+0,0 m;
 - Estaca 7+0,0 m; e
 - Estaca 8+40 m.
- BTME:
 - Estaca 20+12,0 m;
 - Estaca 21+12,0 m;
 - Estaca 23+10,0 m;
 - Estaca 25+0,0 m;
 - Estaca 30+0,0 m;
 - Estaca 33+10,0 m;
 - Estaca 36+16,0 m;
 - Estaca 41+6,0 m; e
 - Estaca 46+5,0 m.

Nas Figura 6, Figura 8 e Figura 7 estão indicadas as posições dessas seções em planta.

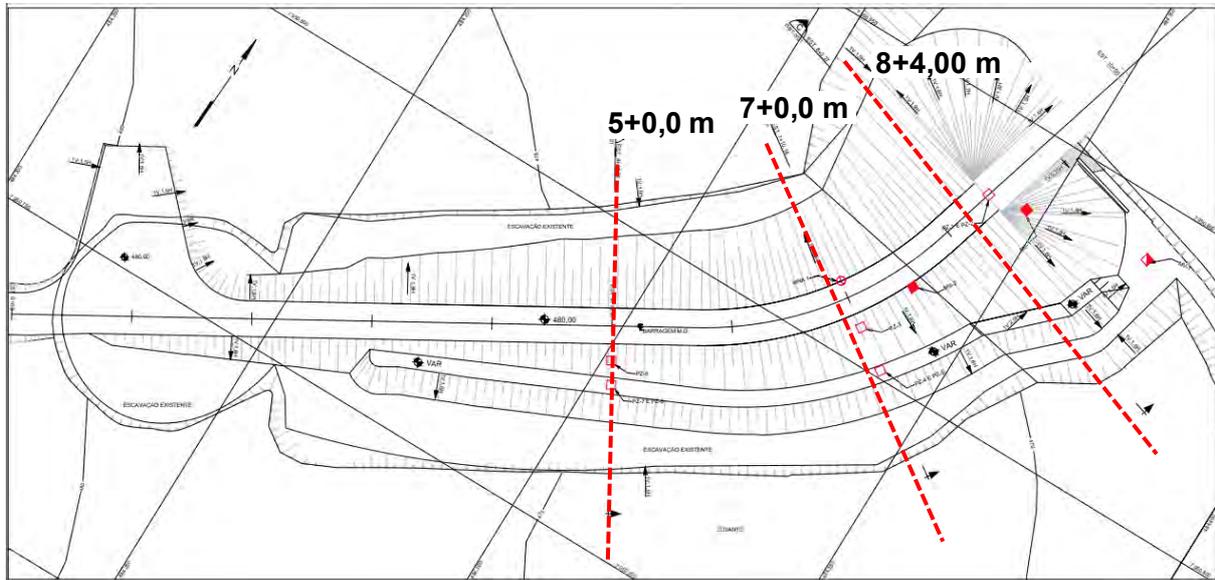


Figura 6. Seções utilizadas nas análises (BTMD).

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu– Barragem de Terra – Margem Direita – Instrumentação - Plantas (600-CAC-DES-ISBT-0020).

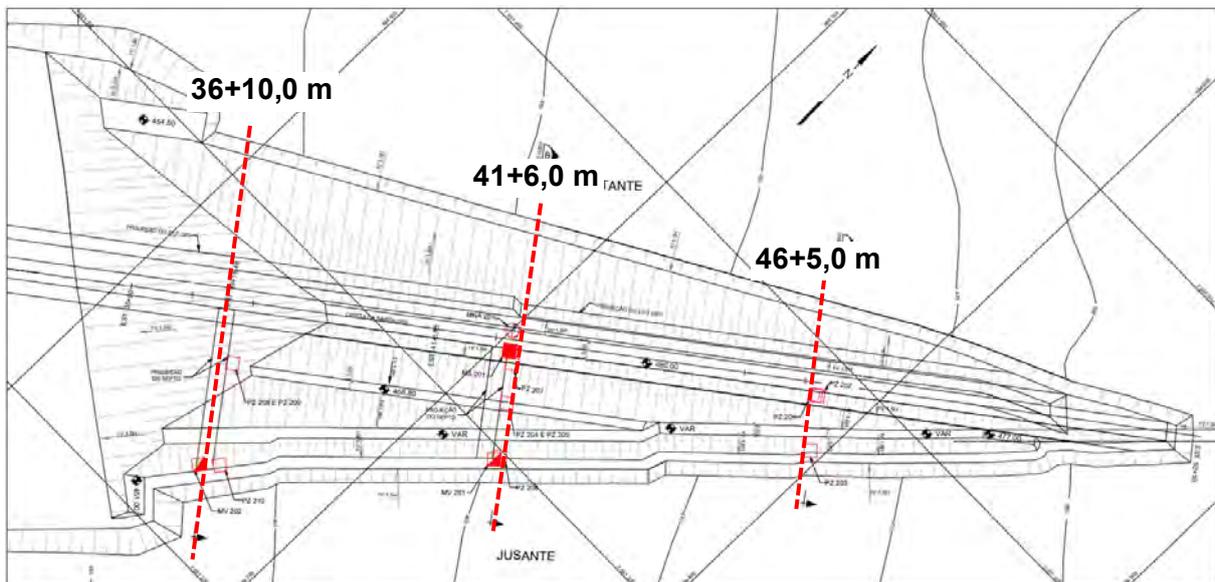


Figura 7. Seções utilizadas nas análises (BTME).

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação - Planta (600-CAC-DES-ISBT-0001).

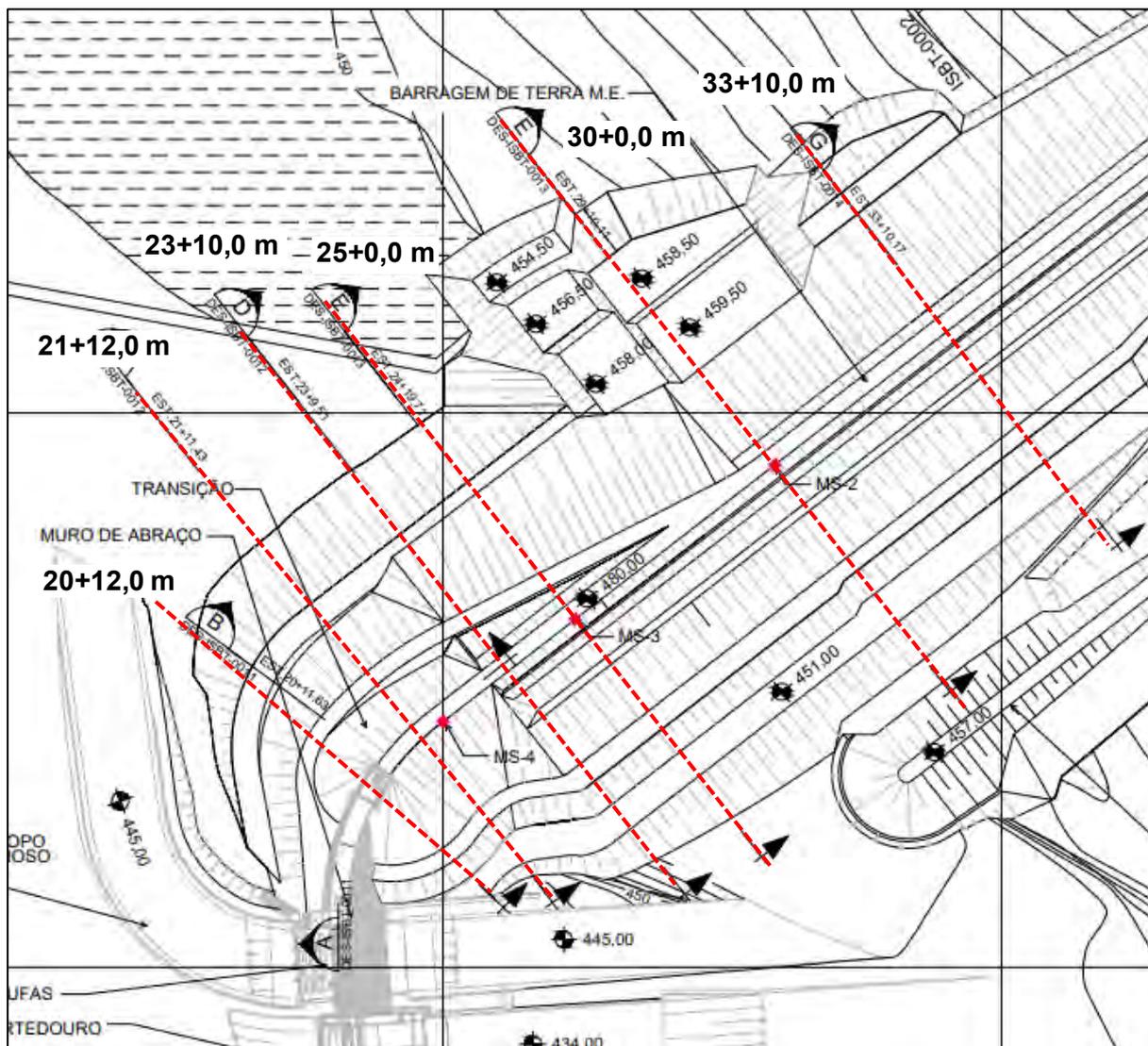


Figura 8. Seções utilizadas nas análises (BTME).

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Marcos Fixos – Planta de Locação (600-CAC-DES-ISBT-0040).

A revisão do Estudo foi realizada, também, de acordo com o Projeto As Is de instrumentação das barragens da UHE Caçu. Foram analisados os dados históricos da instrumentação disponível, que foram utilizados no desenho do fluxo que percola o maciço de terra. Também foram realizadas simulações de análise de fluxo através da fundação e do maciço da barragem.

Para a definição dos parâmetros de permeabilidade e de resistência dos materiais, foram utilizados resultados de ensaios de laboratório das amostras (maciço de terra), realizados em 2020, e ensaios disponíveis a fase de projeto da barragem. Para a fundação rochosa, foram utilizados parâmetros de Barton-Bandis, definidos através do programa computacional Rocdata.

As simulações de estabilidade foram realizadas no software Slide, da empresa Rocscience. Os fatores de segurança foram obtidos segundo os critérios de ruptura de Bishop Simplificado, Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer.

A Tabela 17 apresenta os fatores de segurança obtidos nos estudos de estabilidade para todas as seções da UHE Caçu.

Tabela 17. Síntese dos fatores de segurança obtidos para todas as seções analisadas.

Local	Condição	Operação Normal		Operação Normal Com Sismos		Rebaixamento Rápido
	Talude	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Montante
	FS Mínimo	1,500	1,500	1,100	1,100	1,300
	Estaca	FS Calculado - BISHOP				
BTMD	5+0,0 m	1,853	2,606	1,480	2,019	2,029
	7+0,0 m	1,864	2,188	1,290	1,655	1,952
	8+4,0 m	1,500	2,744	1,197	2,038	1,781
BTME	20+12,0 m	1,671	6,208	1,291	4,254	1,821
	21+12,0 m	1,624	6,467	1,326	4,271	2,027
	23+10,0 m	1,875	5,758	1,477	3,777	2,015
	25+0,0 m	1,752	5,716	1,385	3,751	1,904
	30+0,0 m	1,894	4,205	1,497	2,924	1,576
	33+10,0 m	1,594	4,504	1,256	3,13	1,613
	36+16,0 m	1,500	3,126	1,162	2,199	1,431
	41+6,0 m	1,500	1,855	1,197	1,298	1,587
	46+5,0 m	1,594	2,901	1,306	2,203	1,819
	Estaca	FS Calculado - JANBU				
BTMD	5+0,0 m	1,822	2,561	1,449	1,980	2,023
	7+0,0 m	1,857	2,166	1,297	1,636	1,952
	8+4,0 m	1,500	2,643	1,184	1,970	1,761
BTME	20+12,0 m	1,637	5,550	1,290	3,876	1,834
	21+12,0 m	1,627	5,888	1,322	3,969	2,038
	23+10,0 m	1,875	5,439	1,476	3,573	1,964
	25+0,0 m	1,767	5,286	1,396	3,503	1,803
	30+0,0 m	1,857	3,626	1,452	2,547	1,455
	33+10,0 m	1,572	3,930	1,23	2,796	1,625
	36+16,0 m	1,500	2,886	1,169	2,04	1,393
	41+6,0 m	1,500	1,777	1,192	1,243	1,552
	46+5,0 m	1,551	2,835	1,267	2,155	1,687
	Estaca	FS Calculado - GLE (MORGENSTERN-PRICE)				
BTMD	5+0,0 m	1,876	1,874	1,502	2,029	2,025
	7+0,0 m	1,860	2,193	1,304	1,660	1,950
	8+4,0 m	1,500	2,744	1,189	2,041	1,774
BTME	20+12,0 m	1,699	6,220	1,316	4,284	1,821
	21+12,0 m	1,637	6,494	1,346	4,310	2,027
	23+10,0 m	1,910	5,675	1,513	3,697	2,002
	25+0,0 m	1,747	5,613	1,381	3,653	1,906
	30+0,0 m	1,843	4,182	1,453	2,91	1,572
	33+10,0 m	1,571	4,611	1,235	3,244	1,613

Local	Condição	Operação Normal		Operação Normal Com Sismos		Rebaixamento Rápido
	Talude	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Montante
	FS Mínimo	1,500	1,500	1,100	1,100	1,300
	36+16,0 m	1,450	3,115	1,16	2,194	1,422
	41+6,0 m	1,500	1,792	1,198	1,244	1,551
	46+5,0 m	1,587	2,951	1,303	2,212	1,777
	Estaca	FS Calculado – SPENCER				
	5+0,0 m	1,874	2,619	1,498	2,052	2,033
BTMD	7+0,0 m	1,862	2,201	1,300	1,671	1,951
	8+4,0 m	1,450	2,752	1,193	2,052	1,776
	20+12,0 m	1,704	6,230	1,328	4,287	1,824
	21+12,0 m	1,644	6,502	1,355	4,311	2,027
	23+10,0 m	1,903	5,696	1,519	3,723	2,028
	25+0,0 m	1,760	5,636	1,393	3,673	1,929
BTME	30+0,0 m	1,859	4,206	1,471	2,938	1,594
	33+10,0 m	1,577	4,600	1,250	3,231	1,617
	36+16,0 m	1,500	3,115	1,161	2,193	1,425
	41+6,0 m	1,500	1,808	1,194	1,259	1,556
	46+5,0 m	1,587	2,949	13,303	2,212	1,790

Conforme pode ser observado, todas as análises apresentaram fatores de segurança (FS) maiores do que os exigidos pela norma em todas as situações avaliadas: operação normal sem sismos, operação normal com sismos e rebaixamento rápido. Portanto, a Barragem de Terra da UHE Caçu apresenta-se estável, segundo os critérios de projeto.

As seções de jusante das estacas 8+4,0 m e 36+16,0 m apresentaram FS abaixo do recomendado para um dos métodos de cálculo utilizado: método de Spencer e GLE (Morgenstern-Price), respectivamente. Isso ocorre pois cada método se adequa de maneira diferente em cada análise, portanto, a depender do caso, alguns métodos se tornam inadequados para analisar o comportamento de uma seção. Ainda assim, para os três outros métodos de cálculo utilizados, as seções apresentaram FS recomendado. Portanto, as seções são consideradas estáveis.

12.2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTRUTURAS DE CONCRETO

Em julho de 2022, foi realizada a Revisão do Estudo de Estabilidade Global das Estruturas Civas da UHE Caçu, que está presente no ANEXO 5.

O estudo avaliou as seções dos blocos 2, 3, 4, 5 e 6 da Barragem de Concreto, do Bloco de Ligação, do Vertedouro, da Tomada D'Água e a da Casa de Força.

O cálculo foi realizado através do programa computacional ESTAB, desenvolvido exclusivamente para calcular estabilidades globais de estruturas de concreto de usinas hidrelétricas, que calcula os fatores de segurança quanto ao tombamento (FST), flutuação

(FSF) e deslizamento (FSD), bem como as tensões na fundação das estruturas para cada caso de carregamento.

Para as análises realizadas, foram considerados como carregamentos atuantes o peso próprio da estrutura, peso da água, empuxos hidrostáticos e subpressões nas fundações.

As condições de carregamento consideradas nas análises desse estudo foram:

- Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1): representa a combinação de todas as ações de grande probabilidade de ocorrência simultânea ao longo da vida útil da estrutura, em condições hidrológicas normais;
- Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2): representa as mesmas condições do caso CCN1, modificando o diagrama de subpressões na região das piezometrias, e utilizando nestes pontos os valores reais da piezometria medidos em campo;
- Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1): representa a combinação de ações de baixa probabilidade de ocorrência simultânea ao longo da vida útil da estrutura. Neste caso, considerando a ocorrência de enchente, com nível de água máximo a montante e a jusante, e as subpressões correspondentes a estes níveis;
- Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2): representa a combinação de ações de baixa probabilidade de ocorrência simultânea ao longo da vida útil da estrutura. Neste caso, considerando níveis normais de operação e situação excepcional do sistema de drenagem 50% inoperante; e
- Condição de Carregamento Limite (CCL): representa a combinação de ações de baixíssima probabilidade de ocorrência simultânea ao longo da vida útil da estrutura. Neste caso, considerando o sistema de drenagem 100% inoperante, com níveis de água normais de operação.

A revisão do Estudo foi realizada, também, de acordo com a documentação disponível do empreendimento, sendo estas nos níveis de Projeto Básico, Projeto Executivo e Projeto Como Construído (quando disponível).

A Tabela 18 a seguir apresenta uma síntese dos resultados obtidos para cada região avaliada, segundo os cenários propostos no estudo.

Tabela 18. Síntese dos fatores de segurança obtidos para todas as seções analisadas.

Local	Cenário	FS Tombamento	FS Flutuação	FS Escorregamento	Comprimento Tracionado na Base (m)	% da Base Tracionada
BLOCO 2	CCN1	1.90	5.41	1.27	0,0	0,0
	CCN2	1.84	4.33	1.60	0,0	0,0
	CCE1	1.73	4.10	1.51	0,0	0,0
	CCE2	1.49	2.84	1.70	0,0	0,0
	CCL	1.90	5.41	1.27	0,0	0,0
BLOCO 3	CCN1	1.97	5.06	1.40	0,0	0,0
	CCN2	1.79	3.60	1.70	0,0	0,0
	CCE1	1.80	4.03	1.66	0,0	0,0
	CCE2	1.61	3.10	1.90	0,0	0,0
	CCL	1.97	5.06	1.40	0,0	0,0
BLOCO 4	CCN1	1.80	3.22	1.23	0,0	0,0
	CCN2	1.90	3.58	1.27	0,0	0,0
	CCE1	1.68	2.66	1.60	0,0	0,0
	CCE2	1.67	2.81	1.45	0,0	0,0
	CCL	1.48	2.27	1.63	0,0	0,0
BLOCO 5 e 6	CCN1	1.68	3.17	1.17	0,0	0,0
	CCN2	1.72	3.30	1.19	0,0	0,0
	CCE1	1.59	2.65	1.54	0,0	0,0
	CCE2	1.57	2.79	1.39	0,0	0,0
	CCL	1.41	2.28	1.56	0,0	0,0
ML	CCN1	2.17	5.82	1.63	0,0	0,0
	CCN2	1.52	2.27	1.27	0,0	0,0
	CCE1	2.17	5.83	2.06	0,0	0,0
	CCE2	1.96	4.41	1.97	0,0	0,0
	CCL	1.68	3.08	2.27	0,0	0,0
VT	CCN1	2.18	4.96	1.23	0,0	0,0
	CCN2	2.88	9.23	2.31	0,0	0,0
	CCE1	2.03	3.86	1.60	0,0	0,0
	CCE2	1.94	4.01	1.45	0,0	0,0
	CCL	1.62	2.98	1.63	0,0	0,0
TA e CF	CCN1	2.36	4.35	1.80	0,0	0,0
	CCN2	2.90	7.57	1.92	0,0	0,0
	CCM	2.22	4.08	1.69	0,0	0,0
	CCE1	2.30	3.78	2.54	0,0	0,0
	CCE2	2.04	3.42	2.02	0,0	0,0
	CCL	1.53	1.75	1.53	0,0	0,0

Como conclusão geral dos estudos, foram obtidos Fatores de Segurança superiores aos definidos pela Eletrobrás para todos os casos de carregamento. Portanto, através dos resultados obtidos, é possível afirmar que as estruturas de concreto da UHE Caçu se encontram estáveis para as situações de cálculo adotadas e atendem aos critérios de projeto da Eletrobrás quanto à segurança estrutural.

13 REVISÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

A Revisão das Estruturas de Concreto foi realizada pela Fractal Engenharia e Sistemas e refere-se às condições de segurança estrutural das estruturas de concreto da UHE Caçu. O documento pode ser visualizado no ANEXO 5.

As inspeções visuais de campo foram realizadas no dia 15 de abril de 2021 e englobaram a Barragem de Concreto, Tomada D'Água, Muro de Ligação, Vertedouro e Casa de Força.

Em geral, as estruturas civis se encontram em bom estado de conservação, sem indícios de anomalias que comprometam a segurança da barragem. Sendo necessárias apenas de manutenções corretivas pontuais, destacando-se:

- No Vertedouro foram observadas na superfície vertente da calha do rápido, mais especificamente nos blocos 1 e 2, erosões de pequeno a médio grau de intensidade, e serão necessários reparos corretivos superficiais em cerca de 40 m² para os 2 vãos do Vertedouro. Estes reparos são superficiais e não afetam a estabilidade do vertedouro, e devem ser feitos em até dois anos visando não agravar a situação da superfície da calha vertente com a exposição de armaduras, e assim onerar os custos dos reparos;
- Quanto as vigas munhão, visualmente não há sinais de descompressão da junta protendida entre estas vigas e os pilares do vertedouro, porém, como é conhecido o problema de infiltração de água com início de um processo de corrosão, deve-se manter a região sempre em observação;
- Na Casa de Força foi observado uma flambagem lateral dos pilares de montante da estrutura metálica de suporte da cobertura, para o qual é recomendado executar um travamento lateral metálico a meia altura, de forma a evitar deformações acentuadas e comprometer a resistência da estrutura. Não é nada urgente, mas não deve ser postergado demais pois não se conhece o projeto, a recomendação é fazer em até 1 ano ou menos.
- Ainda dentro da Casa de Foça, na junta de contração da Área de Montagem com o bloco da CF1 e na junta de contração entre os blocos da CF1 e CF2, há uma surgência de água na parede de montante que se estende pelo piso da galeria mecânica, muito provavelmente causado por falhas na concretagem ou falhas nos veda-juntas. Essas surgências costumam cessar ou aumentar com o tempo, e o recomendado (por enquanto) é remediar, ou seja, secar com pano externamente a parede e o piso para evitar o contato desta umidade com as

partes metálicas ao redor, e observar a evolução ou diminuição da infiltração. Não é nada que afete estruturalmente a Casa de Força;

- Quanto a situação das galerias de drenagem da Barragem CCR, as mesmas se encontram em bom estado estrutural e de conservação, porém foi observado na inspeção na galeria de drenagem da barragem na margem esquerda, mais especificamente entre os blocos 2 e 3, que existe uma pequena surgência de água no teto e na parede de montante da galeria, provavelmente causada por juntas frias ou falhas na concretagem durante a obra, o que difere do restante das paredes das galerias de drenagem dos demais blocos da barragem CCR, as quais estão completamente secas. Foi observado ainda que as drenagens profundas (fundação) e as drenagens de face (paramento) estão funcionando, e sendo assim recomendo apenas observar esta região entre os blocos 2 e 3 na margem esquerda da barragem para verificar a evolução destas infiltrações.

Os pontos observados não comprometem a estabilidade estrutural das estruturas de concreto da UHE Caçu.

14 REVISÃO GEOLÓGICA/GEOTÉCNICA

A Revisão Geológica/Geotécnica foi realizada pela Fractal Engenharia e Sistemas e refere-se às condições de segurança das estruturas da UHE Caçu em relação à geologia da área, bem como à condição das estruturas de terra e enrocamento. O documento pode ser visualizado no ANEXO 5.

As inspeções visuais de campo foram realizadas nos dias 20 e 21 de julho de 2021 e englobaram as estruturas civis da UHE Caçu.

Conforme observado em campo, as estruturas da UHE Caçu encontram-se em bom estado de conservação, sem anomalias que possam estar afetando potencialmente suas seguranças, ou situações de risco à estabilidade. Os principais pontos destacados pela Revisão Geotécnica/Geológica seguem apresentados a seguir:

- Na barragem de enrocamento da margem esquerda, na região do encontro com a barragem de CCR, foi possível observar um processo de desagregação dos blocos de rocha, um pouco mais avançado, em parte pela falta de um sistema de drenagem nesta região. Abatimentos que venham a ocorrer próximo à crista, causados por escoamento de água superficial, devem ser reparados. Conclui-se que para a região da crista/face jusante, este é o ponto de atenção mais importante, sublinhando-se a importância da instalação do sistema de drenagem (canaletas). A jusante da barragem, na região com surgência de água, recomenda-se manter o monitoramento com o registro periódico do

comportamento da mesma (ação que já vem sendo executada pela equipe da Kinross);

- Com relação à junta-falha, a falta de características geralmente atribuídas às estruturas do tipo, conforme definição de Nieble et al. (1974), como a presença de preenchimento argiloso ou extenso fraturamento sistemático, esta descontinuidade pode representar uma disjunção subhorizontal interna a um derrame. A descontinuidade presente no talude lateral direito, não apresenta sinais de instabilidade, surgências ou outras anomalias visíveis. Deve-se lembrar que, devido à estruturação predominantemente horizontal nos derrames, a permeabilidade segundo este eixo é muito maior do que a permeabilidade segundo o eixo vertical, a não ser em locais com disjunções colunares, o que não é o caso. A ausência de pontos de surgência, portanto, indica não haver infiltrações importantes ao longo deste plano. Considera-se ainda que a cortina de injeções do Projeto Executivo, que foi dimensionada considerando esta feição, e partindo-se do pressuposto que tenha sido corretamente executada, deve garantir a estanqueidade na região abaixo da fundação (Figura 9). O trabalho anterior de Kanji & Abraão (2018) atestam, ademais, a estabilidade da estrutura. Outro ponto importante a considerar é a instrumentação, que não aponta anomalias nas leituras. Além de um monitoramento visual, com observação do eventual aparecimento de pontos de surgência, o monitoramento através da instrumentação na galeria de drenagem torna-se importante para a detecção de leituras ou tendências anômalas. Importante ressaltar a continuidade de monitoramento e acompanhamento periódico da instrumentação e dos drenos com maior vazão, como o DR-112. Caso se observem tendências anômalas ou leituras que indiquem valores de atenção, uma investigação específica pode ser ponderada e planejada, na sequência à adoção de melhorias aqui sugeridas, como medida a favor da segurança;

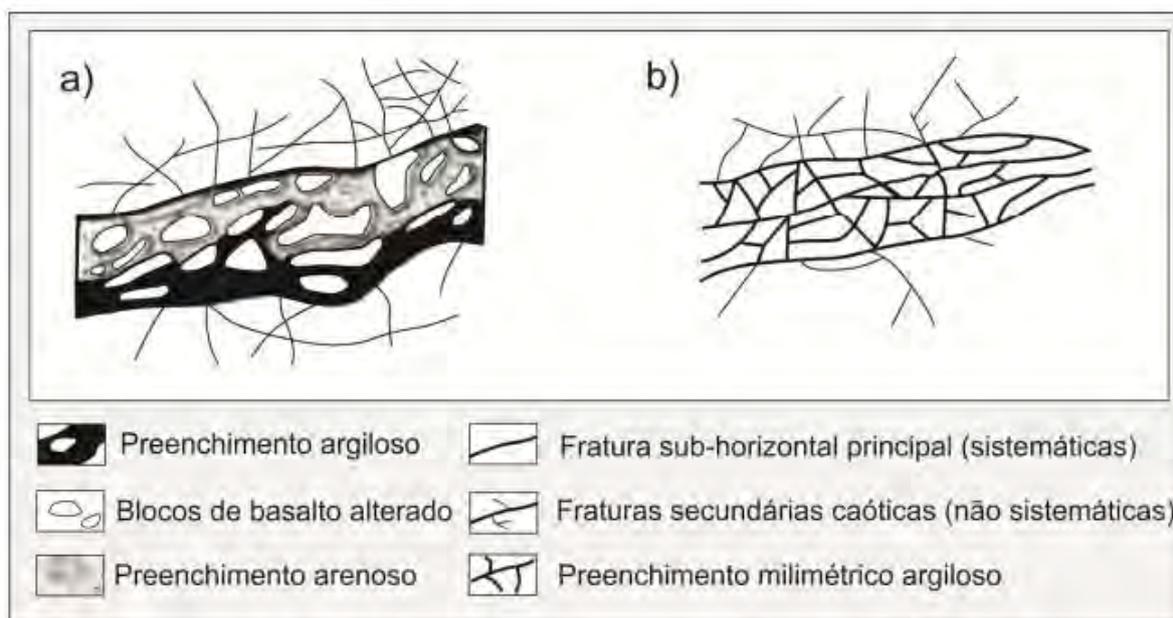


Figura 9. Tipos de junta-falha (Nieble et al., 1974).

- Nos taludes de pequena altura adjacentes à estrutura da Casa de Força, recomenda-se a limpeza de vegetação nas faces e na região da crista. A região da surgência, na parte superior do talude, deve da mesma forma ser limpa da vegetação, possibilitando futuras inspeções; e
- A limpeza das margens de segurança, remoção de cupinzeiros e da vegetação arbustiva vêm sendo executados pela equipe de manutenção. Recomenda-se a continuidade deste procedimento já que o aparecimento destes elementos é contínuo.

Além da avaliação realizada em campo, através das inspeções visuais, o estudo referente à revisão Geológica/Geotécnica também contempla avaliação da geologia local, com base nas sondagens realizadas nas etapas de projeto, informações de obra e, ainda, informações da região em que a estrutura está implantada.

Com base nas avaliações realizadas, foram traçadas as seções típicas das estruturas e as condições da fundação local. As figuras a seguir ilustram as seções geológicas da barragem Caçu.

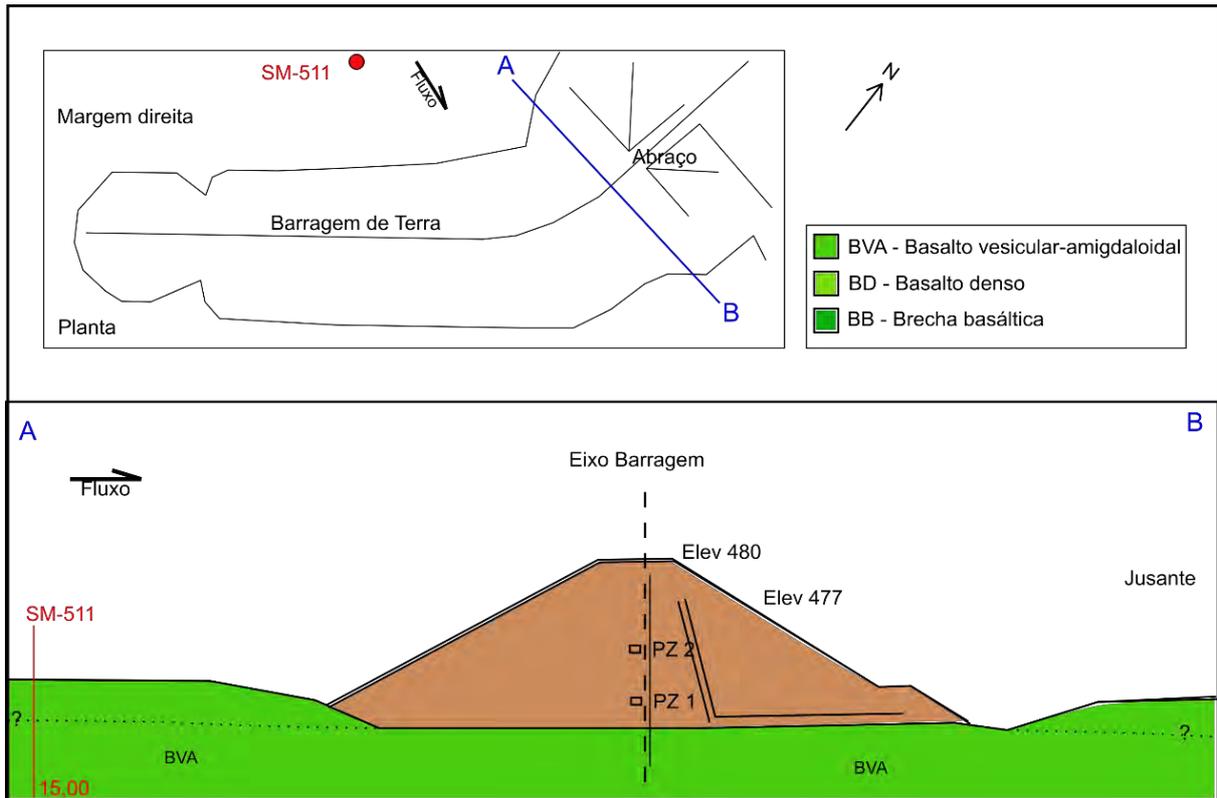


Figura 10. Seção geológica esquemática da região de fundação da barragem de terra da margem direita e sondagem SM-511.

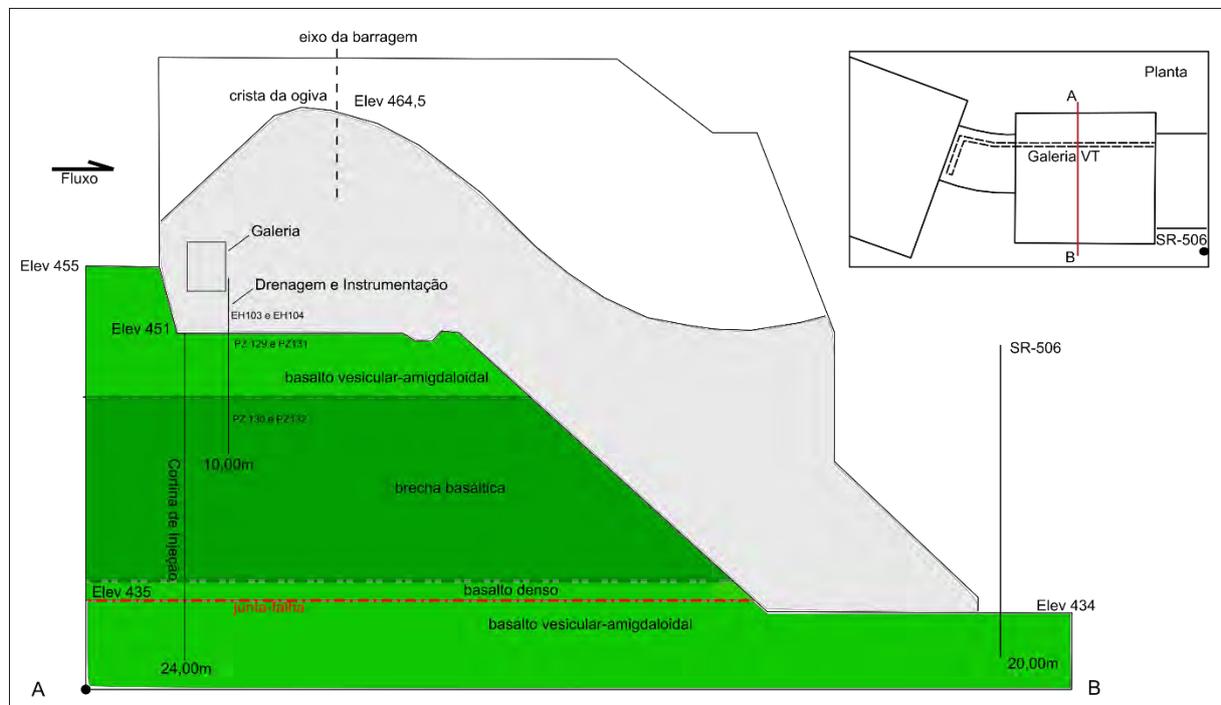


FIGURA 11. Seção geológica ao longo do eixo do vertedouro. Observar que a cortina de injeção do projeto executivo ultrapassa a feição denominada junta-falha. Apesar do alto fraturamento no horizonte de brecha basáltica, os demais parâmetros de alteração e coesão conferem ao maciço boas características geomecânicas.

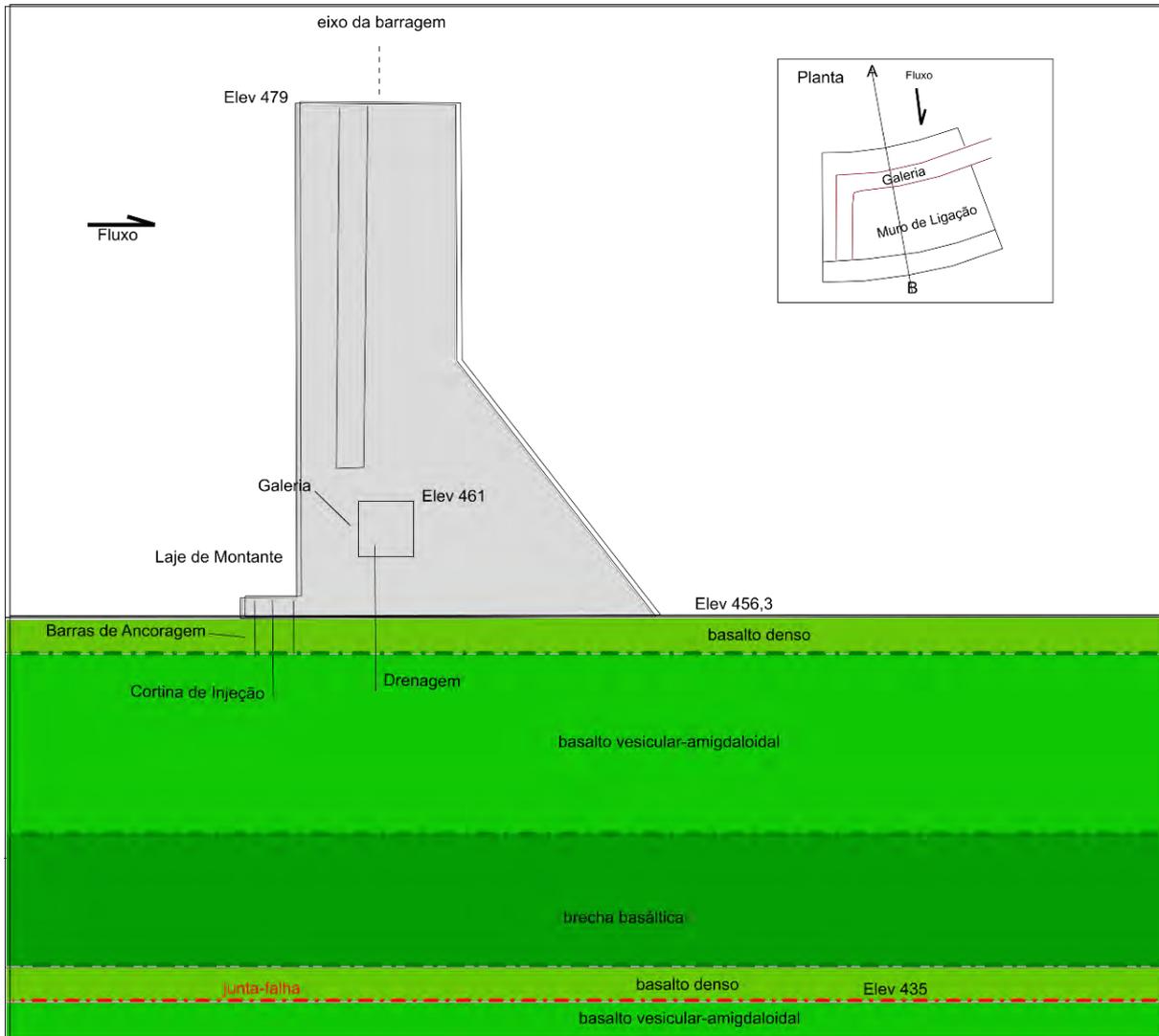


Figura 12- Seção geológica transversal na região do muro de ligação. observa-se que nesta estrutura, a junta falha ocorre em maior profundidade (em relação ao vertedouro).

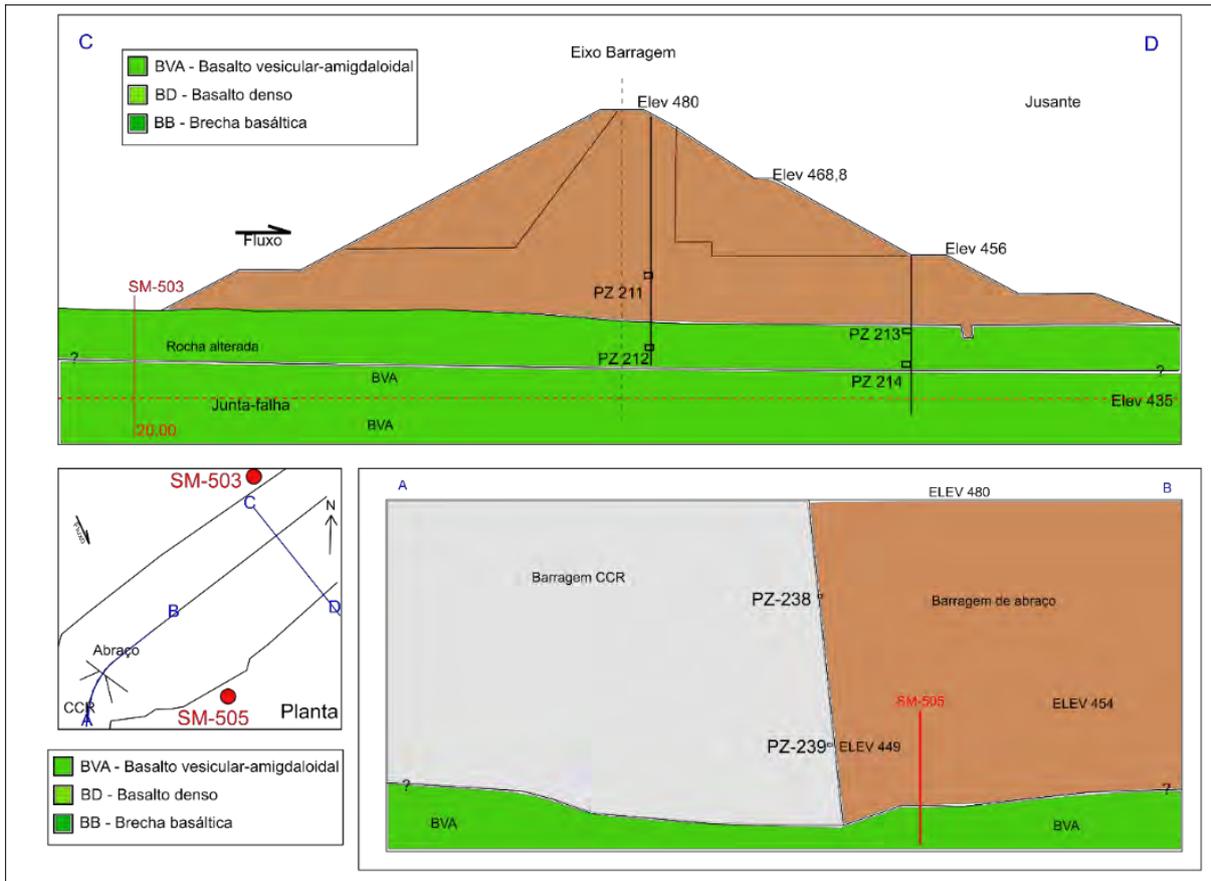


Figura 13. Seção geológica na região da barragem de transição e da barragem CCR.

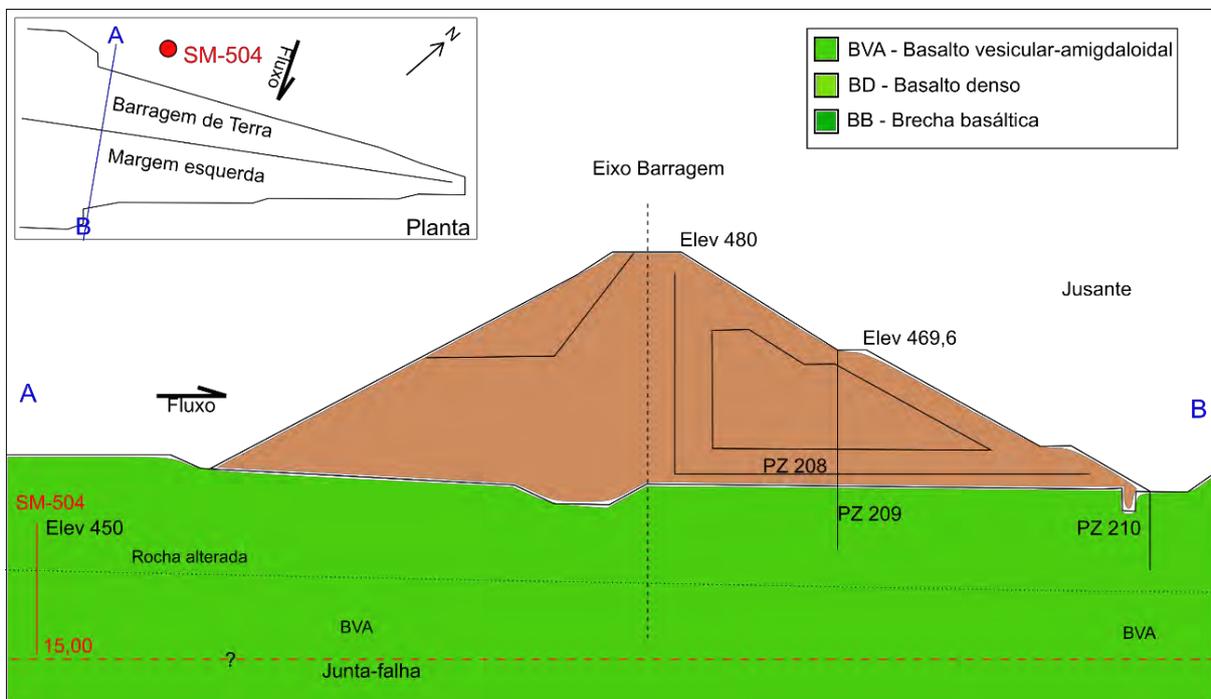


Figura 14. Seção geológica na região da barragem de terra da margem esquerda, com a sondagem SM-504.

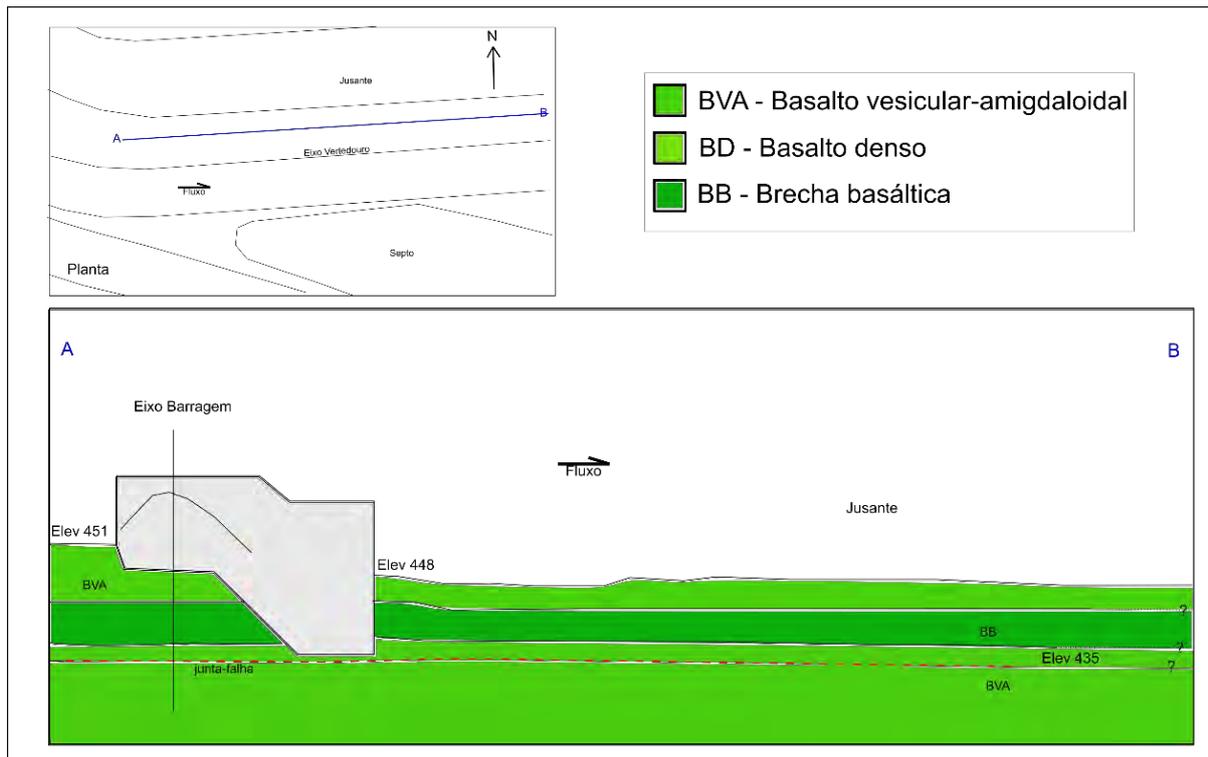


Figura 15. Seção geológica do canal de restituição.

Para maiores informações a respeito da geologia local, consultar o documento 600-CAC-RT-GEO-021-1, referente à revisão Geológica/Geotécnica da UHE Caçu.

15 CONCLUSÕES

Como conclusão geral dos estudos realizados para compor a Revisão Periódica de Segurança da UHE Caçu, pode-se citar que a estrutura apresenta **condições adequadas de conservação e operação**. Ainda, têm-se a registrar:

- Os estudos de estabilidade tanto das estruturas de terra e enrocamento quanto das estruturas de concreto concluíram que as seções analisadas apresentam Fatores de Segurança superiores aos estabelecidos nas bibliografias de referência (Manual da Eletrobrás). Sendo assim, a barragem apresenta segurança estrutural, conforme Declaração de Condição de Estabilidade apresentada no ANEXO 3;
- Os estudos hidrológicos/hidráulicos indicaram que o vertedouro possui capacidade para extravasar cheias de até 10.000 anos de recorrência, sem comprometer a borda-livre da estrutura. Assim, a barragem possui segurança hidráulica, conforme Declaração de Capacidade de Descarga dos Dispositivos Extravadores apresentada no ANEXO 2;

- As revisões Elétrica e Mecânica indicaram que as comportas do Vertedouro e os Sistemas de Esgotamento da Galeria de Drenagem e da Casa de Força estão operacionais. Algumas melhorias foram recomendadas para garantir a operacionalidade ao longo do tempo, conforme recomendações do capítulo seguinte. As recomendações já estão no Plano de Ação da UHE Caçu e algumas delas já estão em fase de implementação;
- As revisões Geológica/Geotécnica e das Estruturas de Concreto indicaram que as estruturas estão em boas condições de conservação e não apresentam anomalias que possam estar afetando potencialmente a segurança da barragem. Foram recomendadas algumas melhorias pontuais, que já foram repassadas à Kinross e estão no Plano de Ação da UHE Caçu (algumas delas, inclusive, já foram atendidas, a exemplo da troca da proteção vegetal);
- Anualmente é realizada Inspeção de Segurança Regular, que visa avaliar as condições de segurança gerais do empreendimento. Os últimos 5 relatórios de ISR indicaram que a estrutura de Caçu apresenta situação enquadrada como **NORMAL**, sem indícios de anomalias que possam estar afetando a segurança da barragem;
- Mensalmente são emitidos relatórios de Validação de Auscultação, que têm finalidade de avaliar o comportamento da instrumentação instalada nas estruturas civis da barragem, com base nas leituras realizadas quinzenalmente pela equipe da Kinross. Os dados coletados em campo são avaliados mediante os Níveis de Referência Estatísticos e Limites Operacionais (Atenção e Alerta), de modo a enquadrar o estado de segurança da barragem. Os últimos relatórios de instrumentação indicam situação **normal** na estrutura, com a instrumentação dentro dos limites estabelecidos em projeto e de acordo com seus históricos de dados;
- Recentemente foi realizada campanha de limpeza e desobstrução dos dispositivos de drenagem da Galeria. Os resultados se mostraram satisfatórios;
- Está em andamento a reinstrumentação da barragem, com instalação de novos instrumentos conforme especificação técnica realizada pela consultoria;
- Foi realizado estudo por empresa terceira para avaliação da situação dos munhões do Vertedouro, que apresentam sinais de infiltração. Os estudos foram embasados nos testes anuais RIMIT realizados na estrutura. Os resultados da STANTEC, de forma resumida, indicaram que não há preocupação quanto à integridade estrutural dos munhões a curto prazo, mas são necessárias ações de monitoramento da região. As recomendações de monitoramento devem ser

incluídas no Plano de Ação da UHE Caçu, conforme indicadas no capítulo seguinte; por fim

- A Kinross conta com equipe de Segurança de Barragens treinada e qualificada, com corpo técnico formado por profissionais com nível superior e pós-graduação. Mensalmente são realizadas iterações com consultoria externa, validando as informações coletadas em campo pela equipe da Kinross e auxiliando a tomada de decisão de ações rotineiras. São realizadas mensalmente inspeções rotineiras, com emissão de relatórios que são de conhecimento das mais altas hierarquias da empresa.

Assim, de acordo com as revisões, análises e inspeções visuais realizadas na UHE Caçu, **as estruturas se apresentam em bom estado de conservação e com fatores de segurança acima dos estipulados nos critérios de projeto, sendo consideradas, portanto, estruturas estáveis. Ainda, as estruturas apresentam-se operacionais, conforme revisões eletromecânicas realizadas.**

16 RECOMENDAÇÕES

Para que as estruturas da UHE Caçu continuem apresentando segurança estrutural e atuem de maneira a propiciar o melhor funcionamento da usina como um todo, foram estipuladas algumas recomendações, ao longo dos estudos, que devem ser realizadas nos prazos aqui estipulados. Os prazos foram enumerados considerando a “*data zero*” definida como a data da emissão da versão final de cada um dos relatórios que compõe a RPS da estrutura, exceto pelas recomendações que serão apresentadas apenas neste documento. Para estas, o prazo inicia na emissão deste relatório.

Vale ressaltar que algumas destas recomendações já se encontram no Plano de Ação em andamento da UHE Caçu e outras já foram atendidas pela Kinross. As datas para atendimento de algumas das recomendações foram replanejadas, conforme memorandos 600-MEMO-009-2022-A e 600-MEMO-013-2022-A, enviados como resposta as solicitações de extensão de prazo.

A priorização das recomendações foi definida conforme metodologia a seguir:

- **Prioridade Baixa:** não compromete a segurança da barragem e/ou a operação dos sistemas eletromecânicos em médio prazo, mas pode ser entendida como descaso, má conservação ou falta de aplicação das boas práticas de operação e manutenção;
- **Prioridade Média:** não compromete a segurança da barragem e/ou a operação dos sistemas eletromecânicos em curto prazo, mas recomenda-se sua

implementação como condição de atendimento as boas práticas de operação e manutenção;

- **Prioridade Alta:** situação que pode comprometer a segurança da barragem e/ou a operação dos sistemas eletromecânicos, devendo ser tomadas providências nos tempos compatíveis com os impactos e viabilidade de implantação.

A TABELA 19 a seguir contém as recomendações que devem ser atendidas pelo empreendedor na UHE Caçu.

TABELA 19. SÍNTESE DAS RECOMENDAÇÕES DA RPS.

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
Revisão Hidrológica e Hidráulica	1	-	Realizar revisão hidrológica, das afluições, a cada 5 anos até no máximo 10 anos, contados a partir de 2020.	PRIORIDADE BAIXA	23/04/2031
Revisão Hidrológica e Hidráulica	2	-	Realizar revisão hidráulica da capacidade de defluência do empreendimento a cada 5 anos até no máximo 10 anos, contados a partir do ano de 2020.	PRIORIDADE BAIXA	23/04/2031
Revisão Eletromecânica	3	CF	Revisar o plano de inspeção periódica e incluir a operação do gerador diesel de emergência com carga. Como sugestão manter o teste a vazio semanal e realizar o teste com carga mensalmente.	PRIORIDADE ALTA	24/01/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	4	CF	Buscar na documentação ou histórico da operação a informação de capacidade de armazenamento de óleo diesel, confirmando a substituição ou não do reservatório original. Na ausência da documentação recomenda-se fazer uma avaliação da autonomia do sistema, usando como referência a especificação técnica, para definir a capacidade de armazenamento e, se necessário, substituir o reservatório.	PRIORIDADE MÉDIA	24/07/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	5	CF	Melhorias para o plano de manutenção de maior periodicidade: a) Inclusão tarefa de aperto das conexões (pelo menos nos	PRIORIDADE ALTA	24/01/2023 ⁵

⁵ Datas definidas no planejamento da Kinross. Conforme consta nos 600-MEMO-009-2022-A e 600-MEMO-013-2022-A, a data para conclusão do atendimento da recomendação foi estabelecida pela Kinross, limitando-se a recomendação a ter apontada se a prioridade de implementação era alta, média ou baixa. Assim, coube à Kinross planejar data, dentro da capacidade de recursos disponíveis, impacto na segurança, alinhamento com outras atividades, disponibilidade de fornecedores e materiais etc

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
			<p>circuítos de potência) nos quadros elétricos;</p> <p>b) Executar a manutenção periódica de maior abrangência logo, assumindo o período definido após essa execução.</p>		
Revisão Eletromecânica	6	CF	Substituir as baterias de 125 VCC.	PRIORIDADE ALTA	30/06/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	7	CF	Proceder o quanto antes com a manutenção corretiva da indicação de fuga a terra de um dos polos de ambas as fontes do sistema de corrente contínua.	PRIORIDADE ALTA	30/12/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	8	VT	Resgatar as informações do Plano de Contingência que já existia como base para a elaboração de um plano de contingência atualizado e disponível para uso pela equipe de O&M. Contemplando também a utilização do sistema de acionamento de emergência das comportas (motobombas a diesel), com instruções de quando e como deve ser utilizado.	PRIORIDADE ALTA	24/01/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	9	VT	<p>Revisar o Manual de Operação Hidráulica com relação a revisão dos procedimentos de rede do ONS, em especial ao atendimento aos submódulos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procedimento de Rede do ONS – Submódulo 2.5 – Critérios para Operação; • Procedimento de Rede do ONS – Submódulo 5.5 – Operação Hidráulica de Reservatórios. 	PRIORIDADE MÉDIA	24/07/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	10	VT	Realizar testes através de manobras de isolamento para confirmar que a alimentação do QDVT é para os quadros QUHVT1 e QUHVT2 e não para os quadros QCVT1 e QCVT2. Caso confirmado revisar a documentação e os tags das gavetas do QDVT.	PRIORIDADE MÉDIA	24/07/2023 ⁵

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
Revisão Eletromecânica	11	VT	Prover etiquetas definitivas nos cabos do quadro QSVT que estão com etiquetas adesivas temporárias.	PRIORIDADE BAIXA	24/07/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	12	VT	Melhorias para o plano de manutenção de maior periodicidade: a) Incluir tarefa de medição de resistência de isolamento, correntes e tensões das motobombas. Estabelecer procedimento para garantir que as medições realizadas, sejam registradas não apenas no registro da OS, mas de maneira a permitir a execução do cálculo, por exemplo dos índices de polarização e absorção, com a avaliação comparativa com as medições anteriores, com o objetivo de monitorar a condição das motobombas e permitir o apontamento de uma tendência ao defeito; b) Incluir tarefas de calibração dos instrumentos das unidades hidráulicas; c) Incluir tarefa de calibração da medição de posição das comportas, validando a consistência da indicação do transdutor de posição com a indicação na régua graduada; d) Inclusão tarefa de aperto das conexões (pelo menos de potência) nos quadros elétricos; e) Executar a manutenção periódica de maior abrangência logo, assumindo o período	PRIORIDADE ALTA	24/01/2023 ⁵

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
			definido após essa execução.		
Revisão Eletromecânica	13	VT	Medir a tensão de alimentação das motobombas das unidades hidráulicas em operação e avaliar se está dentro da tolerância operacional desses equipamentos.	PRIORIDADE BAIXA	24/01/2024 ⁵
Revisão Eletromecânica	14	VT	Avaliar a aplicabilidade da medição e temperatura de óleo das unidades hidráulicas e conforme avaliação fazer a manutenção corretiva no medidor da unidade hidráulica 1 ou retirar dos sistemas, fazendo a desativação definitiva.	PRIORIDADE BAIXA	24/01/2024 ⁵
Revisão Eletromecânica	15	VT	Revisar a documentação aplicável com as alterações feita na <i>retrofit</i> do controle e supervisão das comportas.	PRIORIDADE MÉDIA	24/07/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	16	CF	Prover uma alimentação alternativa de emergência para pelo menos uma motobomba de drenagem, para o caso de falha do barramento do CCMDE. O sistema possui uma caixa de interligação que pode ser substituída por uma caixa de interligação, chaveamento e acionamento manual da motobomba. A alimentação alternativa poderá vir diretamente de uma gaveta reserva do quadro QPSA.	PRIORIDADE ALTA	30/12/2024 ⁵
Revisão Eletromecânica	17	CF	Resgatar as informações do Plano de Contingência que já existia como base para a elaboração de um plano de contingência atualizado e disponível para uso pela equipe de O&M. Contemplando instruções em caso de falha do sistema de drenagem, com ações para confirmar a interligação ou proceder com a mesma, entre o poço de drenagem e o poço de esgotamento e	PRIORIDADE ALTA	24/01/2023 ⁵

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
			comando das motobombas de esgotamento.		
Revisão Eletromecânica	18	CF	As instruções operacionais devem ser implantadas/revistas formalizando o procedimento de rodízio periódico entre as duas bombas de drenagem.	PRIORIDADE BAIXA	24/01/2024 ⁵
Revisão Eletromecânica	19	CF	Identificar e documentar nas instruções operacionais os níveis de automatismo das motobombas de drenagem e os alarmes associados.	PRIORIDADE ALTA	24/01/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	20	CF	Estabelecer um procedimento de avaliação periódica e registro da condição de operação da drenagem, com a medição dos tempos de enchimento (até a entrada em operação de uma motobomba) e o tempo de drenagem (até o desligamento da motobomba). Esse tempo deve ser registrado em algumas condições, como período úmido/seco, com umas unidades geradoras em operação.	PRIORIDADE MÉDIA	24/07/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	21	CF	Providenciar a fixação de plaquetas de material durável com a identificação (tags) das sondas de medição de nível do poço de drenagem.	PRIORIDADE MÉDIA	24/07/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	22	CF	Adequar a condição operativa do seletor de motobomba principal (rodízio), corrigindo a plaqueta ou o circuito interno do quadro.	PRIORIDADE BAIXA	24/07/2023 ⁵

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
Revisão Eletromecânica	23	CF	Como o histórico da realização de manutenção no sistema pode não ser confiável, tendo em vista a troca da empresa de O&M, recomenda-se que a manutenção periódica de maior porte, com planejamento bienal, seja realizada inicialmente com periodicidade anual, para avaliar a condição operacional e confirmar a periodicidade adequada.	PRIORIDADE ALTA	24/01/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	24	CF	Melhorias para o plano de manutenção de maior periodicidade: a) Estabelecer procedimento para garantir que as medições realizadas, como por exemplo a das resistências de isolamento das motobombas de drenagem, sejam registradas não apenas no registro da OS, mas de maneira a permitir a execução do cálculo dos índices de polarização e absorção a avaliação comparativa com as medições anteriores, com o objetivo de monitorar a condição das motobombas e permitir o apontamento de uma tendência ao defeito; b) Inclusão tarefa de aperto das conexões (pelo menos de potência) nos quadros elétricos; Executar a manutenção periódica de maior abrangência logo, assumindo o período definido após essa execução.	PRIORIDADE ALTA	24/01/2023 ⁵
Revisão Eletromecânica	25	Almoxarifados	Os mecanismos de armazenamento e controle dos sobressalentes,	PRIORIDADE MÉDIA	18/01/2024 ⁵

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
			<p>dispositivos e ferramentas especiais devem passar por uma revisão completa, contemplando:</p> <ul style="list-style-type: none">• Reforma de grande monta visando recuperar a edificação do almoxarifado compartilhado com a UHE Caçu;• Reforma geral do almoxarifado local da casa de força, incluindo a adequação da climatização;• Avaliação da condição dos materiais que foram armazenados um grande período em más condições. Guarda e controle daqueles que foram considerados adequados para o uso. Descarte dos materiais considerados inadequados para o uso;• Avaliação da instalação e ressuprimento dos materiais faltantes.		
Revisão Eletromecânica	26	Geral	<p>Deve-se realizar a validação dos documentos, contemplando:</p> <ul style="list-style-type: none">• A aprovação dos documentos quanto a sua adequação, antes da sua emissão;• A análise crítica da adequação do documento e atualização, quando necessário, com a devida reaprovação;• Que as alterações e a situação da revisão atual dos documentos sejam identificadas;• Que os documentos nas suas revisões pertinentes estejam	PRIORIDADE ALTA	30/12/2023 ⁵

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
			disponíveis nos locais de uso; <ul style="list-style-type: none">• Que o uso não pretendido de um documento obsoleto seja evitado;• A identificação adequada aos documentos obsoletos nos casos em que eles forem retidos por qualquer propósito.		
Revisão Mecânica	27	CF	Recomenda-se a identificação dos cabos de alimentação elétrica dos grupos motobombas	PRIORIDADE ALTA	18/01/2023
Revisão Mecânica	28	VT	Recomenda-se realizar manutenção em todos os cilindros das comportas no momento da manutenção das comportas segmento.	PRIORIDADE ALTA	30/12/2025
Revisão Mecânica	29	VT	Recomenda-se realizar manutenção em todas as interligações hidráulicas, pois foram observadas oxidações nas tubulações, principalmente nas linhas de pressão que conduzem óleo pressurizado no cabeçote inferior do cilindro para abertura das comportas. As possibilidades para manutenção são: <ul style="list-style-type: none">a) Recuperação da proteção anticorrosiva prevista no projeto;b) Substituição das tubulações para material inoxidável, eliminando assim futuros problemas de oxidações ao longo do tempo.	PRIORIDADE ALTA	30/12/2025
Revisão Mecânica	30	VT	Recomenda-se implementar uma proteção nos novos sensores de posição instalados na modernização para evitar danos acidentais nos sensores.	PRIORIDADE ALTA	30/12/2025

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
			Também se recomenda analisar as especificações dos cabos dos sensores que estão expostos próximo do munhão da comporta. Caso necessário, recomenda implementar uma proteção.		
Revisão Mecânica	31	VT	Recomenda-se realizar uma manutenção em todas as estruturas das comportas para correção da proteção anticorrosiva nos lados e montante e jusante.	PRIORIDADE ALTA	30/12/2025
Revisão Mecânica	32	VT	Mesmo a estanqueidade das comportas apresentarem condições aceitáveis, recomenda-se durante a manutenção as comportas a substituição das vedações, pois o tempo de utilização já superou o tempo recomendado pelos fabricantes de 6 anos.	PRIORIDADE ALTA	30/12/2025
Revisão Mecânica	33	VT	Recomenda-se instalar uma barreira de contenção ou canaletas para canalizar possível vazamento de óleo para bacia de contenção das unidades hidráulicas das salas de comando local.	PRIORIDADE ALTA	18/01/2023
Revisão Mecânica	34	VT	Recomenda-se que a instalação dos tubos de exaustão dos grupos motobomba diesel seja corrigido para evitar rompimento dos tubos devido a vibração do motor diesel.	PRIORIDADE ALTA	18/01/2023
Revisão Mecânica	35	VT	Recomenda-se reavaliar as velocidades de abertura e fechamento das comportas com a lei de manobra do vertedouro.	PRIORIDADE ALTA	30/12/2025
Vigas Munhão [RPS]	36	Viga Munhão	Recomenda-se implementar processo para realização de testes RIMT anuais, e caso haja observação de aumento da classe de corrosão (Grau 3), a realização dos testes secundários.	PRIORIDADE ALTA	22/12/2023
Vigas Munhão [RPS]	37	Viga Munhão	Recomenda-se que a instrumentação da junta entre a viga munhão e o pilar do vertedouro, de forma a confirmar que não há abertura da junta em nenhuma situação. A sugestão da Fractal é que o controle de abertura seja feito com o uso Medidores de	PRIORIDADE MÉDIA	22/12/2024

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
			Junta (MJ) automatizados, de forma a permitir medições em tempo real e que não impactem na segurança dos leituristas, visto que a região é de difícil acesso.		
Vigas Munhão [RPS]	38	Viga Munhão	Recomenda-se implementar processo para que no caso de verificação de sinais de abertura na junta e/ou aumento da corrosão, seja implementada a solução da BEDÊ Engenharia.	PRIORIDADE ALTA	22/12/2023
Revisão das Estruturas de Concreto	39	CF	Recomenda-se a realização de reparos corretivos superficiais em cerca de 40 m ² para os vãos 1 e 2 do Vertedouro.	PRIORIDADE MÉDIA	30/12/2023
Revisão das Estruturas de Concreto	40	ME	Recomenda-se monitorar por observação as infiltrações na parede de montante e no teto da galeria de drenagem na junta de contração entre os blocos 2 e 3 da Barragem na margem esquerda.	PRIORIDADE MÉDIA	01/06/2022
Revisão das Estruturas de Concreto	41	CF	Recomenda-se contraventar lateralmente a estrutura metálica de montante que suporta a cobertura da CF.	PRIORIDADE MÉDIA	30/12/2024
Revisão das Estruturas de Concreto	42	CF	Recomenda-se monitorar as infiltrações na parede de montante entre a AM e a UG-1 e no piso entre UG-1 e UG-2, e secar constantemente as superfícies com pano para evitar água escorrendo pela Casa de Força e em contato com as partes metálicas e equipamentos da usina.	PRIORIDADE MÉDIA	01/06/2022
Revisão Geológica/ Geotécnica	43	Taludes CF	Recomenda-se a limpeza da vegetação na face e na região da crista dos cortes em rocha da CF.	PRIORIDADE MÉDIA	25/04/2022
Revisão Geológica/ Geotécnica	44	MD	Recomenda-se, na região do pé da barragem de transição, onde há umidade e surgência, uma limpeza que permita inspeção visual.	PRIORIDADE MÉDIA	25/04/2022
Revisão Geológica/ Geotécnica	45	ME	Recomenda-se a limpeza da vegetação e a retirada de árvores de médio porte na região próxima à rampa de concreto.	PRIORIDADE ALTA	25/04/2022
Revisão Geológica/ Geotécnica	46	ME	Recomenda-se a recomposição (solo + revestimento vegetal) nas regiões com perda de material granular, abatimentos e ravinamentos próximos à crista.	PRIORIDADE ALTA	25/04/2022

DOCUMENTO	Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE	PRAZO
Revisão de Instrumentação [RPS]	47	ML, VT e CCR	Recomenda-se realizar a filmagem orientada dos furos de drenagem fazendo a descrição da vertical para caracterização e mapeamento das descontinuidades da rocha.	PRIORIDADE MÉDIA	22/12/2024
Revisão de Instrumentação [RPS]	48	ML	Recomenda-se a instalação de mais 2 Piezômetros no bloco do Muro de Ligação, além dos 4 Piezômetros já indicados na Especificação Técnica de Reinstrumentação,	PRIORIDADE MÉDIA	22/12/2024
Revisão de Instrumentação [RPS]	49	ML	Recomenda-se testes com obturador nos drenos da UHE Caçu para medição de pressão no contato concreto-rocha.	PRIORIDADE MÉDIA	22/12/2024
Revisão de Instrumentação [RPS]	50	ML	Recomenda-se a realização de sondagens, com perfuração orientada e a recuperação dos testemunhos para posterior ensaio. Os ensaios a serem realizados com os testemunhos de CAC devem incluir a caracterização geomecânica da junta-falha, para que se possa realizar um estudo de estabilidade considerando o deslizamento através desse ponto da fundação.	PRIORIDADE MÉDIA	22/12/2024
Revisão de Instrumentação [RPS]	51	-	Recomenda-se realização de análise de percolação, utilizando os resultados dos ensaios a serem realizados.	PRIORIDADE MÉDIA	22/12/2025

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Modelo de Plano de Ação de Emergência. Audiência Pública para coletar contribuições e subsídios para a Regulamentação do Plano de Ação de Emergência, conforme art. 8º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 que trata da Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. 15 de março de 2013. Brasília: ANA.

_____. Manual do Empreendedor – Volume V. Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE. Brasília: ANA, 2015. 169p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Resolução Normativa n. 236, de 30 de janeiro de 2017. Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa n. 696, de 15 de dezembro de 2015. Estabelece critérios para classificação, formulação do Plano de Segurança e realização da Revisão Periódica de Segurança em barragens fiscalizadas pela ANEEL de acordo com o que determina a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

BRASIL. Lei n. 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000.

ANEXOS

ANEXO 1. ART DO RESPONSÁVEL TÉCNICO

	Anotação de Responsabilidade Técnica - ART Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977 Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina	CREA-SC		ART OBRA OU SERVIÇO 25 2022 8380369-3 Inicial Equipe - ART Principal
1. Responsável Técnico RUBEN JOSE RAMOS CARDIA Título Profissional: Engenheiro Civil		R.N. Registro: [REDACTED]		
Empresa Contratada: FRACTAL ENGENHARIA E SISTEMAS S/A		Registro: 104413-8-SC		
2. Dados do Contrato Contratante: Kinross Brazil Mineração S.A. Endereço: Faz. Usina Hid. Barra dos Coqueiros Complemento: [REDACTED] Cidade: CACHOEIRA ALTA Valor da Obra/Serviço/Contrato: R\$ [REDACTED] Contrato: Celebrado em [REDACTED]		Bairro: Zona Rural UF: GO	CPF/CNPJ: Nº: S/N [REDACTED] CEP: 75670-000	
3. Dados Obra/Serviço Proprietário: [REDACTED] Mineração S.A. Endereço: [REDACTED] HARES Complemento: [REDACTED] Cidade: FLORIANOPOLIS Data de Início: 03/01/2022 Finalidade: [REDACTED]		Bairro: TRINDADE UF: SC	CPF/CNPJ: Nº: 2056 [REDACTED] CEP: 88036-003 Código: [REDACTED]	
4. Atividade Técnica Coordenação: [REDACTED] Estudo: [REDACTED] Revisão Periódica de Segurança de Barragem		Dimensão do Trabalho: 2.00	Unidade(s): [REDACTED]	
5. Observações Coordenador Técnico do RPS das Barragens das UHEs Capu e Barra dos Coqueiros				
6. Declarações Acessibilidade: Declaro que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART foram atendidas as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.				
7. Entidade de Classe NENHUMA				
8. Informações A ART é válida somente após o pagamento da taxa. Situação do pagamento da taxa da ART: TAXA DA ART PAGA Valor ART: R\$ 233,94 | Data Vencimento: 04/08/2022 | Registrada em: 25/07/2022 Valor Pago: R\$ 233,94 | Data Pagamento: 29/07/2022 | Nosso Número: 14002204000427886 A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-sc.org.br/art . A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual. Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.025/09 do CONFEA.				
9. Assinaturas Declaro serem verdadeiras as informações acima.		FLORIANOPOLIS - SC, 25 de Julho de 2022 Assinado de forma digital por RUBEN JOSE RAMOS CARDIA Dados: 2022.07.30 11:31:00 RUBEN JOSE RAMOS CARDIA		
RUBEN JOSE RAMOS CARDIA:73657689834		ANTONIO LUIZ RIBEIRO:01669385809		
Contratante: Kinross Brazil Mineração S.A.		[REDACTED]		
www.crea-sc.org.br Fone: (48) 3331-2000		falecom@crea-sc.org.br Fax: (48) 3331-2107		

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
 Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
 Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina

CREA-SC

ART OBRA OU SERVIÇO
 25 2021 7934300-9
 Inicial
 Equipe - ART 7805519-5

1. Responsável Técnico
PEDRO GUILHERME DE LARA
 Título Profissional: Engenheiro Sanitarista e Ambiental
 Registro: [REDACTED]

Empresa Contratada: FRACTAL ENGENHARIA E SISTEMAS S/A
 Registro: [REDACTED]

2. Dados do Contrato

Contratante: Kinross Brazil Mineração S.A.	CPF/CNPJ: [REDACTED]
Endereço: Faz. Usina Hid. Barra dos Coqueiros	Nº: S/N
Complemento: [REDACTED]	Bairro: Zona Rural
Cidade: CACHOEIRA ALTA	UF: GO
Valor da Obra/Serviço/Contrato: [REDACTED]	CEP: 75870-000
Contrato: Celebração [REDACTED]	Honorários Vinculado à ART: [REDACTED]
	Ação Institucional: [REDACTED]
	Tipo de Contratante: [REDACTED]

3. Dados Obra/Serviço

Proprietário: Kinross Brazil Mineração S.A.	CPF/CNPJ: [REDACTED]
Endereço: RUA LAURO LINHARES	Nº: 2055
Complemento: Sala 303	Bairro: TRINDADE
Cidade: FLORIANOPOLIS	UF: SC
Data de Início: 14/10/2019	CEP: 88036-003
Finalidade: [REDACTED]	Código: [REDACTED]
Data de Término: 31/01/2022	Coordenadas Geográficas: [REDACTED]

4. Atividade Técnica

Coordenação	Consultoria	Estudo	Dimensão do Trabalho:	Unidade(s)
Hidrologia - Modelagem hidrológica			12.600,00	Quilômetro(s) Quadrado(s)
Obras hidráulicas	Análise		2,00	Unidade(s)
Modelagem hidrodinâmica em ambiente aquático	Consultoria	Estudo	2,00	Unidade(s)

5. Observações

Coordenação de consultoria e estudo de modelagem hidrológica de cheias naturais e modelagem hidráulica para análise de capacidade de vertimento das usinas UHE Capu e Barra dos Coqueiros.

6. Declarações

Acessibilidade: Declaro que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART foram atendidas as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.

7. Entidade de Classe

NENHUMA

8. Informações

A ART é válida somente após o pagamento da taxa.
 Situação do pagamento da taxa da ART: TAXA DA ART PAGA
 Valor ART: R\$ 88,78 | Data Vencimento: 09/09/2021 | Registrada em: 30/08/2021
 Valor Pago: R\$ 88,78 | Data Pagamento: 31/08/2021 | Nosso Número: 14002104000416309
 A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-sc.org.br/art.
 A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.
 Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.025/09 do CONFEA.

9. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima.
 FLORIANOPOLIS - SC, 30 de Agosto de 2021

PEDRO GUILHERME DE LARA: [REDACTED]

PEDRO GUILHERME DE LARA
 [REDACTED]

ANTONIO LUIZ
 RIBEIRO:01669385809
 Dados: 2022.12.21 19:21:42 -03'00'

Contratante: Kinross Brazil Mineração S.A.
 [REDACTED]

www.crea-sc.org.br falecom@crea-sc.org.br
 Fone: (48) 3331-2000 Fax: (48) 3331-2107

	Anotação de Responsabilidade Técnica - ART Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977 Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina	CREA-SC		ART OBRA OU SERVIÇO 25 2022 8380510-1 Inicial Equipe - ART 8380369-3
1. Responsável Técnico ANDRE RICARDO DA SILVA FAHEL Título Profissional: Geólogo		R: [REDACTED] Registro: [REDACTED] R: [REDACTED] Registro: [REDACTED]		
Empresa Contratada: FRACTAL ENGENHARIA E SISTEMAS S/A				
2. Dados do Contrato Contratante: Kinross Brazil Mineração S.A. Endereço: Faz. Usina Hid. Barra dos Coqueiros Complemento: [REDACTED] Cidade: CACHOEIRA ALTA Valor da Obra/Serviço/Contrato: [REDACTED] Contrato: Celebrado [REDACTED]		Honorários: Vinculado à ART:	Bairro: Zona Rural UF: GO Ação Institucional: Tipo de Contratante:	CPF/CNPJ: Nº: S/N [REDACTED] CEP: 75870-000
3. Dados Obra/Serviço Proprietário: Kinross Brazil Mineração S.A. Endereço: RUA LAURO LINHARES Complemento: [REDACTED] Cidade: FLORIANOPOLIS Data de Início: 03/01/2022 Finalidade:		Data de Término: 30/09/2022	Bairro: TRINDADE UF: SC Coordenadas Geográficas:	CPF/CNPJ: Nº: 2055 [REDACTED] CEP: 88036-003 Código:
4. Atividade Técnica				
Coordenação	Estudo			
Revisão Periódica de Segurança de Barragem				
Estudo	Análise	Dimensão do Trabalho:	2,00	Unidade(s)
Geotecnia para estabilidade de taludes				
		Dimensão do Trabalho:	2,00	Unidade(s)
5. Observações Revisão de Estabilidade – Estruturas de Terra e Enrocamento (Barragens das UHs Caçu e Barra dos Coqueiros)				
6. Declarações Acessibilidade: Declaro que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART foram atendidas as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.				
7. Entidade de Classe NENHUMA				
8. Informações A ART é válida somente após o pagamento da taxa. Situação do pagamento da taxa da ART: TAXA DA ART PAGA Valor ART: R\$ 88,78 | Data Vencimento: 04/08/2022 | Registrada em: 25/07/2022 Valor Pago: R\$ 88,78 | Data Pagamento: 26/07/2022 | Nosso Número: 14002204000428054 A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-sc.org.br/art . A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual. Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.025/09 do CONFEA.				
9. Assinaturas Declaro serem verdadeiras as informações acima. PALHOCA - SC, 25 de julho de 2022				
ANDRE RICARDO DA SILVA FAHEL.56628684504 [REDACTED] ANDRE RICARDO DA SILVA FAHEL				
ANTONIO LUIZ RIBEIRO: [REDACTED] forma digital por [REDACTED]				
Contratante: Kinross Brazil Mineração S.A. [REDACTED]				
www.crea-sc.org.br Fone: (48) 3331-2000		falecom@crea-sc.org.br Fax: (48) 3331-2107		

	Anotação de Responsabilidade Técnica - ART Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977 Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina	CREA-SC		ART OBRA OU SERVIÇO 25 2022 8383106-1 Inicial Individual
1. Responsável Técnico LEONARDO PEREIRA ATHAI MAZZIOTTI Título Profissional: Engenheiro Civil		RNP Registro: [REDACTED]		
Empresa Contratada:		Registro:		
2. Dados do Contrato				
Contratante: FRACTAL ENGENHARIA E SISTEMAS S/A Endereço: RUA LAURO LINHARES Complemento: SALA 305 Cidade: FLORIANOPOLIS		CPF/CNPJ Nº: 2055 [REDACTED] Barrio: TRINDADE UF: SC CEP: 88036-003		
Valor da Obra/Serviço/Contrato: [REDACTED] Contrato: S/N		Honorários: Vinculado à ART: Ação Institucional: Tipo de Contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado		
3. Dados Obra/Serviço				
Proprietário: KINROSS BRAZIL MINERAÇÃO S.A. Endereço: RUA LAURO LINHARES Complemento: SALA 305 Cidade: FLORIANOPOLIS		CPF/CNPJ Nº: 2055 [REDACTED] Barrio: TRINDADE UF: SC CEP: 88036-003		
Data de Início: 09/05/2022 Finalidade: Industrial		Data de Término: 28/07/2022 Coordenadas Geográficas: Código:		
4. Atividade Técnica				
Análise Concreto Estrutural				
Dimensão do Trabalho:		2,00		
Unidade(s):				
5. Observações Análise de Estabilidade Global das Estruturas de Concreto da UHE Capu. Análise de Estabilidade Global das Estruturas de Concreto da UHE Barra dos Coqueiros.				
6. Declarações Acessibilidade: Declaro que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART foram atendidas as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.				
7. Entidade de Classe NENHUMA				
8. Informações A ART é válida somente após o pagamento da taxa. Situação do pagamento da taxa da ART: TAXA DA ART PAGA Valor ART: R\$ 233,94 | Data Vencimento: 05/08/2022 | Registrada em: 26/07/2022 Valor Pago: R\$ 233,94 | Data Pagamento: 28/07/2022 | Nosso Número: 14002204000430795 A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-sc.org.br/art . A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual. Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.025/09 do CONFEA.				
9. Assinaturas Declaro serem verdadeiras as informações acima. Leonardo Mazzioti [REDACTED] FLORIANOPOLIS - SC, 26 de Julho de 2022 08:10:19 - 03:00 LEONARDO PEREIRA ATHAI MAZZIOTTI HENRIQUE LUCINI [REDACTED] forma digital por HENRIQUE ROCHA:05076486928 [REDACTED] Contratante: FRACTAL ENGENHARIA E SISTEMAS S/A [REDACTED]				
www.crea-sc.org.br Fone: (48) 3331-2000		falecom@crea-sc.org.br Fax: (48) 3331-2107		

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART **CREA-SC**
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina**ART OBRA OU SERVIÇO**
25 2021 7813906-0
Substituição de ART 7812451-2
Equipe - ART 7805519-5

1. Responsável Técnico

LEONARDO PEREIRA ATHAI MAZZIOTTI
Título Profissional: Engenheiro CivilRNP: [REDACTED]
Registro: [REDACTED]

Empresa Contratada: FRACTAL ENGENHARIA E SISTEMAS S/A

Registro: 104413-8-SC

2. Dados do Contrato

Contratante: Kinross Brazil Mineração S.A.
Endereço: Faz. Usina Hid. Barra dos Coqueiros
Complemento:
Cidade: CACHOEIRA ALTA
Valor da Obra/Serviço/Contrato: R\$ [REDACTED]
Contrato: [REDACTED] Celebração: [REDACTED]Honorários:
Vinculado à ART:Ação Institucional:
Tipo de Contratante:Bairro: Zona Rural
UF: GOCPF/CNPJ:
Nº: S/N [REDACTED]

CEP: 75870-000

3. Dados Obra/Serviço

Proprietário: Kinross Brazil Mineração S.A.
Endereço: RUA LAURO LINHARES
Complemento: Sala 303
Cidade: FLORIANOPOLIS
Data de Início: 01/04/2021
Finalidade:

Data de Término: 30/06/2021

Coordenadas Geográficas:

Bairro: TRINDADE
UF: SCCPF/CNPJ:
Nº: 2055 [REDACTED]

CEP: 88036-003

Código:

4. Atividade Técnica

Estudo

Barragem de concreto

Dimensão do Trabalho:

2,00

Unidade(s)

5. Observações

Revisão da documentação estrutural e Inspeção técnica visual das estruturas de concreto das barragens das UHES Capu e Barra dos Coqueiros.

6. Declarações

Acessibilidade: Declaro que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART foram atendidas as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.

7. Entidade de Classe

NENHUMA

9. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima.

FLORIANOPOLIS - SC, 01 de Junho de 2021

Leonardo Mazziotti [REDACTED]

LEONARDO PEREIRA ATHAI MAZZIOTTI

**ANTONIO LUIZ
RIBEIRO:01669385809** [REDACTED]

Assinado de forma digital por ANTONIO

Contratante: Kinross Brazil Mineração S.A.

8. Informações

A ART é válida somente após o pagamento da taxa.

Situação do pagamento da taxa da ART: TAXA DA ART PAGA

Valor ART: R\$ 88,78 | Data Vencimento: 10/06/2021 | Registrada em: 01/06/2021

Valor Pago: R\$ 88,78 | Data Pagamento: 07/06/2021 | Nosso Número: 14002104000277963

A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-sc.org.br/art.

A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.025/09 do CONFEA.



Código: 600-CAC-RT-RPS-REV_1
 Título: Revisão Periódica de Segurança de Barragens
 Páginas: 74 de 81 Emissão: 22/12/2022



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART CREA-SC
 Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
 Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Santa Catarina

ART OBRA OU SERVIÇO
 25 2021 7955427-2
 Inicial Individual

1. Responsável Técnico
MARCELO BOGO
 Título Profissional: Geólogo

Empresa Contratada: [REDACTED] Registro: [REDACTED]

2. Dados do Contrato
 Contratante: Fractal Engenharia e sistema SA
 Endereço: RUA LAURO LINHARES
 Complemento: sala 305
 Cidade: FLORIANOPOLIS
 Bairro: TRINDADE
 UF: SC
 CEP: 88036-003
 CPF/CNPJ Nº: 2055 [REDACTED]
 Valor da Obra/Serviço/Contrato: [REDACTED]
 Contrato: S/N OS1 Celebração: [REDACTED] 2021 Honorários: Vinculados à ART
 Ação Institucional: Tipo de Contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado

3. Dados Obra/Serviço
 Proprietário: KINROSS Brasil Mineração SA
 Endereço: RUA LAURO LINHARES
 Complemento: sala 305
 Cidade: FLORIANOPOLIS
 Bairro: TRINDADE
 UF: SC
 CEP: 88036-003
 CPF/CNPJ Nº: 2055 [REDACTED]
 Data de Início: 12/07/2021 Data de Término: 15/09/2021
 Finalidade: Infra-estrutura Coordenadas Geográficas: Código: [REDACTED]

4. Atividade Técnica
 Estudo
Lauda geológico para barragens

Dimensão do Trabalho:	Unidade(s)
3,00	1

5. Observações
 Relatórios de inspeção/revisão geológica das UHES Barra dos Coqueiros e Capu.

6. Declarações
 Acessibilidade: Declaro que no(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART foram atendidas as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade (da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004).

7. Entidade de Classe
 NENHUMA

8. Informações
 A ART é válida somente após o pagamento da taxa.
 Situação do pagamento da taxa da ART em 15/09/2021: TAXA DA ART A PAGAR
 Valor ART: R\$ 155,38 | Data Vencimento: 27/09/2021 | Registrada em:
 Valor Pago: | Data Pagamento: | Nosso Número:
 A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-sc.org.br/art.
 A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.
 Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.025/09 do CONFEA.

9. Assinaturas
 Declaro serem verdadeiras as informações acima.
 FLORIANOPOLIS - SC, 15 de Setembro de 2021

 MARCELO BOGO
 [REDACTED] de forma digital por HENRIQUE
 HENRIQUE LUCINI ROCHA:05076486928 [REDACTED]
 Contratante: Fractal Engenharia e sistema SA
 [REDACTED]

A Fractal Engenharia fica isenta de qualquer responsabilidade, em caso de modificações nas condições da barragem e/ou alterações em informações disponibilizadas pela Contratante, em detrimento daquelas existentes na versão final deste Relatório, entregue e disponíveis em meio físico e/ou digital.



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo

CREA-SP

ART de Obra ou Serviço
28027230211048655

1. Responsável Técnico

ALEXANDRE TESTA VARALLO

Título Profissional: Engenheiro Mecânico

RNP: [REDACTED]

Reg: [REDACTED]

Reg: [REDACTED]

Empresa Contratada: HYDROVAG CONSULTORIA EM ENGENHARIA LTDA

2. Dados do Contrato

Contratante: Fractal Engenharia e Sistemas S/A

CPF/CNPJ: [REDACTED]

Endereço: Rua LAURO LINHARES

Nº: 2055

Complemento: Sala 305

Bairro: TRINDADE

Cidade: Florianópolis

UF: SC

CEP: 88036-003

Contrato: Ordem de Serviço 01

Celebrado em: 17/05/2021

Vinculada à Art nº:

Valor: R\$ [REDACTED]

Tipo de Contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado

Ação Institucional:

3. Dados da Obra Serviço

Endereço: Rua das Condessas

Nº: 376

Complemento:

Bairro: Caminho Novo

Cidade: Tremembé

UF: SP

CEP: 12120-000

Data de Início: 17/05/2021

Previsão de Término: 30/09/2021

Coordenadas Geográficas:

Finalidade: Infraestrutura

Código:

Proprietário: Kinross Brazil Mineração S/A

CPF/CNPJ: 20.346.524/0005-70

4. Atividade Técnica

Consultoria

Quantidade

Unidade

1

Auditoria

Estrutura Metálica

1,00000

unidade

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

Consultoria de Engenharia Mecânica para auditoria das condições de segurança estrutural referente as condições mecânicas das comportas segmento do vertedouro e do sistema de drenagem da Casa de Força das UHE Caçu e UHE Barra dos Coqueiros. Esta análise foi baseada na análise dos documentos disponibilizados (projetos, procedimentos de manutenção e relatórios de manutenção) e também nas observações durante as inspeções visuais e esclarecimentos feitos pela equipe da KINROSS durante as visitas realizadas entre os dias 22 a 25 de junho de 2021.

6. Declarações

Acessibilidade: Declaro que as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004, não se aplicam às atividades profissionais acima relacionadas.

7. Entidade de Classe

ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE TAUBATÉ

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Local _____ de _____ data _____ de _____

ALEXANDRE TESTA VARALLO

HENRIQUE LUCINI

ROCHA-05076-486928

Fractal Engenharia e Sistemas S/A - CPF/CNPJ: [REDACTED]

9. Informações

- A presente ART encontra-se devidamente quitada conforme dados constantes no rodapé-versão do sistema, certificada pelo Nosso Número.

- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.creasp.org.br ou www.confrea.org.br

- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

www.creasp.org.br

Tel: 0800 017 13 11

E-mail: acessarlink@creas.org.br Fale Conosco do site acima



Valor ART R\$ 233,94

Registrada em: 26/07/2021

Valor Pago R\$ 233,94

Nosso Número: 28027230211048655

Versão do sistema

Impresso em: 20/10/2021 14:50:14

ALEXANDRE
TESTA
VARALLO:1384
3766827

Assinado de forma
digital por ALEXANDRE
TESTA
VARALLO:1384
Dados
14:53:50 -03'00'

	Anotação de Responsabilidade Técnica - ART Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977 Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina	CREA-SC		ART OBRA OU SERVIÇO 25 2021 7884580-2 Inicial Individual
1. Responsável Técnico FERNANDO PEDRASSANI COSTA NEVES Título Profissional: Engenheiro Eletricista				RM: [REDACTED] Registro: [REDACTED]
Empresa Contratada: NYTECH ENGENHARIA DE SISTEMAS S/S				Registro: [REDACTED]
2. Dados do Contrato Contratante: FRACTAL ENGENHARIA E SISTEMAS S/A Endereço: RUA LAURO LINHARES Complemento: SALA 305 Cidade: FLORIANOPOLIS Valor da Obra/Serviço/Contrato: R\$ [REDACTED] Contrato: SIN OS 01 Celebrado em: [REDACTED] 2020				Honorários: [REDACTED] Vinculado à ART: [REDACTED] Ação Institucional: [REDACTED] Tipo de Contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado
Bairro: TRINDADE UF: SC				CPF/CNPJ: Nº: 2055 [REDACTED] CEP: 88038-003
3. Dados Obra/Serviço Proprietário: KINROSS BRAZIL MINERAÇÃO S.A. Endereço: RUA LAURO LINHARES Complemento: SALA 305 Cidade: FLORIANOPOLIS Data de Início: 17/09/2020 Finalidade: Industrial				Bairro: TRINDADE UF: SC CPF/CNPJ: Nº: 2055 [REDACTED] CEP: 88038-003
Data de Término: 31/08/2021				Coordenadas Geográficas: [REDACTED] Código: [REDACTED]
4. Atividade Técnica Avaliação Geração hidráulica de energia elétrica				Dimensão do Trabalho: 65,00 Megawatt(s)
5. Observações Avaliação operacional dos sistemas elétricos de alimentação e dos sistemas de comando e controle, relacionados ao vertedouro e sistema de drenagem da casa de força da UHE Capu				
6. Declarações Acessibilidade: Declaro, sob as penas da Lei, que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART não se exige a observância das regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.				
7. Entidade de Classe NENHUMA				
8. Informações A ART é válida somente após o pagamento da taxa. Situação do pagamento da taxa da ART em 24/07/2021: TAXA DA ART A PAGAR Valor ART: R\$ 233,94 | Data Vencimento: 03/08/2021 | Registrada em: 24/07/2021 Valor Pago: [REDACTED] | Data Pagamento: [REDACTED] | Nosso Número: 14002104000351794 A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-sc.org.br/art . A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual. Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.026/09 do CONFEA.				
9. Assinaturas Declaro serem verdadeiras as informações acima. Assinado de forma digital por FERNANDO PEDRASSANI COSTA NEVES em 24/07/2021 às 14:00:21. Assinado de forma digital por HENRIQUE LUCINI ROCHA em [REDACTED]. Contratante: FRACTAL ENGENHARIA E SISTEMAS S/A				
www.crea-sc.org.br | falecom@crea-sc.org.br Fone: (48) 3331-2000 | Fax: (48) 3331-2107				

ANEXO 2. DECLARAÇÃO DE CAPACIDADE DE DESCARGA DOS DISPOSITIVOS EXTRAVASORES

	Título: Declaração de Capacidade de Descarga dos Dispositivos Extravasores	
	Páginas: 1 de 1	

DECLARAÇÃO DE CAPACIDADE DE DESCARGA DOS DISPOSITIVOS EXTRAVASORES

RPS 2022

ANO BASE: 2022

Nome da Barragem: BARRAGEM CAÇU - CAC

Empreendedor: KINROSS Brasil Mineração LTDA

Competência: AGOSTO/2022

Dano Potencial Associado: Alto

Categoria de Risco: Baixo

Classificação da Barragem: B

Município/UF: Caçu/GO

Declaro para fins de acompanhamento e comprovação junto à ANEEL, que a UHE Caçu apresenta capacidade hidráulica adequada para o tempo de recorrência (TR) de projeto de 10.000 anos com o sistema de comportas totalmente operacional, conforme estudos hidráulicos e hidrológicos realizados em 2019 e atualizados em 2021, pela Fractal Engenharia, para a usina em questão. Assim, atesto a segurança hidrológica dos dispositivos da mesma, em consonância com a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, atualizada pela Lei nº 14.086 de setembro de 2020, e Resoluções ANEEL e ANA vigentes.

Florianópolis, 8 de dezembro de 2022.

Responsável pelo Estudo Hidrológico / Hidráulico	
PEDRO GUILHERME DE LARA	Assinado de forma digital por PEDRO GUILHERME DE LARA
Pedro Guilherme de Lara	
Formação profissional: Engenheiro Sanitarista e Ambiental	
CRE	
CPF	
Representante legal do empreendedor	
ELDER DE OLIVEIRA MARINO	Assinado de forma digital por ELDER DE OLIVEIRA MARINO
Elder de Oliveira Marino	
Cargo: Responsável Legal	
CPF	

A Fractal Engenharia fica isenta de qualquer responsabilidade, em caso de modificações nas condições da barragem e/ou alterações em informações disponibilizadas pela Contratante, em detrimento daquelas existentes na versão final deste Relatório, entregue e disponíveis em meio físico e/ou digital.

ANEXO 3. DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE

	Título: Declaração de Condição de Estabilidade																						
	Páginas: 1 de 1																						
DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE - DCE RPS 2022 ANO BASE: 2022																							
<p>Nome da Barragem: <u>BARRAGEM CAÇU - CAC.</u> Empreendedor: KINROSS Brasil Mineração LTDA Competência: AGOSTO/2022 Dano Potencial Associado: Alto Categoria de Risco: Baixo Classificação da Barragem: B Município/UF: Caçu/GO</p>																							
<p>Declaro para fins de acompanhamento e comprovação junto à ANEEL, que as estruturas civis de Concreto e de Terra e Enrocamento da UHE Caçu apresentam Fatores de Segurança superiores aos estabelecidos pela Eletrobrás em todas as condições de carregamento e cenários avaliados pela Fractal Engenharia e Sistemas, nos estudos realizados entre Maio e Agosto de 2022 para compor a Revisão Periódica de Segurança da barragem, e atesto a estabilidade da mesma, em consonância com a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, atualizada pela Lei nº 14.066 de setembro de 2020, e Resoluções ANEEL e ANA vigentes.</p> <p>Florianópolis, 8 de dezembro de 2022.</p>																							
<table border="1"><tr><td style="text-align: center;">Responsável pelo Estudo de Estabilidade – Estruturas de Concreto</td><td></td></tr><tr><td style="text-align: center;">Leonardo Mazziotti</td><td style="font-size: small;">Assinado de forma digital por Leonardo Mazziotti Data: 2022.12.09 09:34:42 +03'00'</td></tr><tr><td style="text-align: center;">Leonardo Pereira Athai Mazziotti</td><td></td></tr><tr><td>Formação profissional: Engenheiro Civil</td><td></td></tr><tr><td>CREA: [REDACTED]</td><td></td></tr><tr><td>CPF: [REDACTED]</td><td></td></tr></table>	Responsável pelo Estudo de Estabilidade – Estruturas de Concreto		Leonardo Mazziotti	Assinado de forma digital por Leonardo Mazziotti Data: 2022.12.09 09:34:42 +03'00'	Leonardo Pereira Athai Mazziotti		Formação profissional: Engenheiro Civil		CREA: [REDACTED]		CPF: [REDACTED]		<table border="1"><tr><td style="text-align: center;">Responsável pelo Estudo de Estabilidade – Estruturas de Terra e Enrocamento</td><td></td></tr><tr><td style="text-align: center;">ANDRE RICARDO DA SILVA FAHEL:56628684504</td><td style="font-size: small;">Assinado de forma digital por ANDRE RICARDO DA SILVA FAHEL:56628684504 Data: 2022.12.08 16:19:46 -03'00'</td></tr><tr><td style="text-align: center;">André Ricardo da Silva Fahel</td><td></td></tr><tr><td>Formação profissional: Geólogo e Engenheiro Geotécnico</td><td></td></tr><tr><td>CREA: [REDACTED]</td><td></td></tr></table>	Responsável pelo Estudo de Estabilidade – Estruturas de Terra e Enrocamento		ANDRE RICARDO DA SILVA FAHEL:56628684504	Assinado de forma digital por ANDRE RICARDO DA SILVA FAHEL:56628684504 Data: 2022.12.08 16:19:46 -03'00'	André Ricardo da Silva Fahel		Formação profissional: Geólogo e Engenheiro Geotécnico		CREA: [REDACTED]	
Responsável pelo Estudo de Estabilidade – Estruturas de Concreto																							
Leonardo Mazziotti	Assinado de forma digital por Leonardo Mazziotti Data: 2022.12.09 09:34:42 +03'00'																						
Leonardo Pereira Athai Mazziotti																							
Formação profissional: Engenheiro Civil																							
CREA: [REDACTED]																							
CPF: [REDACTED]																							
Responsável pelo Estudo de Estabilidade – Estruturas de Terra e Enrocamento																							
ANDRE RICARDO DA SILVA FAHEL:56628684504	Assinado de forma digital por ANDRE RICARDO DA SILVA FAHEL:56628684504 Data: 2022.12.08 16:19:46 -03'00'																						
André Ricardo da Silva Fahel																							
Formação profissional: Geólogo e Engenheiro Geotécnico																							
CREA: [REDACTED]																							
Representante legal do empreendedor																							
ELDER DE OLIVEIRA MABINO:220212996/00																							
Assinado de forma digital por ELDER DE OLIVEIRA MABINO:220212996/00 Data: 2022.12.08 07:38:07																							
Élder de Oliveira Marino																							
Cargo: Responsável Legal																							
CPF: 220.212.996-00																							

A Fractal Engenharia fica isenta de qualquer responsabilidade, em caso de modificações nas condições da barragem e/ou alterações em informações disponibilizadas pela Contratante, em detrimento daquelas existentes na versão final deste Relatório, entregue e disponíveis em meio físico e/ou digital.



Código: 600-CAC-RT-RPS-REV_1

Título: Revisão Periódica de Segurança de Barragens

Páginas: 79 de 81 Emissão: 22/12/2022



ANEXO 4. RELATÓRIO TÉCNICO – VISITA STANTEC.

ESTUDO	RELATÓRIO
Relatório Técnico de Visita - STANTEC	Relatório Técnico de Visita - STANTEC

ANEXO 5. ESTUDOS ELABORADOS PARA COMPOR A RPS DA UHE CAÇU.

ESTUDO	RELATÓRIO
Revisão Hidrológica e Hidráulica	571-UHECAC-RT-HDD-5
Estudo Hidrodinâmico de Restrição Operacional	600-CAC-HID-RT-001-2
Avaliação Eletromecânica dos Dispositivos do Vertedouro e do Sistema de Drenagem da Casa de Força	600-CAC-RT-ELT-021-1
Revisão Mecânica da Comporta Segmento e Sistema de Drenagem da Casa de Força	600-CAC-RT-MEC-021-0
Análise Estatística da Instrumentação	600-CAC-RT-LIM-001-2
Estudo de Estabilidade das Estruturas de Terra e Enrocamento	600-CAC-RT-RES-REV_4
Estudo da Estabilidade Global das Estruturas de Concreto	600-CAC-RT-RES-022-0
Revisão das Estruturas de Concreto	600-CAC-RT-REC-021-1
Revisão Geológica	600-CAC-RT-GEO-021-1

CONTROLE DE ALTERAÇÕES

CARACTERÍSTICAS DO DOCUMENTO																	
Título do documento: Volume V – Revisão Periódica de Segurança de Barragens																	
Código do documento: 600-CAC-RT-RPS-REV_1																	
<p>INSTRUÇÕES PARA PREENCHIMENTO DO QUADRO:</p> <p>A Revisão A marca o número total de páginas do documento.</p> <p>Revisão 0 e subsequentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sem repaginação: Marcar somente a folha que sofreu alteração de conteúdo. - Com repaginação: Marcar a folha que sofreu alteração de conteúdo e todas posteriores a esta. 																	
Rev. Pag.	A	0	1	2	3	4	5	6	Rev. Pag.	A	0	1	2	3	4	5	6
1	x	x	x						2	x	x	x					
3	x	x	x						4	x	x	x					
5	x	x	x						6	x	x	x					
7	x	x	x						8	x	x	x					
9	x	x	x						10	x	x	x					
11	x	x	x						12	x	x	x					
13	x	x	x						14	x	x	x					
15	x	x	x						16	x	x	x					
17	x	x	x						18	x	x	x					
19	x	x	x						20	x	x	x					
21	x	x	x						22	x	x	x					
23	x	x	x						24	x	x	x					
25	x	x	x						26	x	x	x					
27	x	x	x						28	x	x	x					
29	x	x	x						30	x	x	x					
31	x	x	x						32	x	x	x					
33	x	x	x						34	x	x	x					
35	x	x	x						36	x	x	x					
37	x	x	x						38	x	x	x					
39	x	x	x						40	x	x	x					
41	x	x	x						42	x	x	x					
43	x	x	x						44	x	x	x					
45	x	x	x						46	x	x	x					
47	x	x	x						48	x	x	x					
49	x	x	x						50	x	x	x					
51	x	x	x						52	x	x	x					
53	x	x	x						54	x	x	x					
55	x	x	x						56	x	x	x					
57	x	x	x						58	x	x	x					
59	x	x	x						60	x	x	x					
61	x	x	x						62	x	x	x					
63	x	x	x						64	x	x	x					
65	x	x	x						66	x	x	x					

CARACTERÍSTICAS DO DOCUMENTO

Título do documento: Volume V – Revisão Periódica de Segurança de Barragens

Código do documento: 600-CAC-RT-RPS-REV_1

67	x	x	x						68	x	x	x					
69	x	x	x						70	x	x	x					
71	x	x	x						72	-	x	x					
73	-	x	x						74	-	x	x					
75	-	x	x						76	-	x	x					
77	-	x	x						78	-	x	x					
79	-	x	x						80	-	x	x					
81	-	x	x						82	-	x	-					
83	-	x	-						84	-	x	-					
85	-	x	-						86	-	-	-					
87	-	-	-						88	-	-	-					

1 INTRODUÇÃO.

O presente relatório tem como objetivo apresentar o entendimento sobre a avaliação “PEER REVIEW”, executada pela empresa norte-americana STANTEC, nos trabalhos elaborados pela equipe técnica da KINROSS e seus consultores para trazer a solução de reforços das vigas dos munhões dos vertedouros das Usinas Hidrelétricas Caçu e Barra dos Coqueiros localizadas no estado de Goiás.

2 O “PEER REVIEW”

A KINROSS contratou através do Contrato N° 153375 - B2, firmado em 15 de fevereiro de 2022, a empresa norte-americana através de sua subsidiária STANTEC ARGENTINA S.A, para execução dos trabalhos de revisão da revisão de projeto de engenharia para correção de problemas civis em vigas munhão para as UHE's de Caçu e BCO. O escopo contratado contempla as seguintes atividades:

- a) Compreender o projeto original e o papel desempenhado pelos cabos pré-protendidos;
- b) Comentar sobre a validade e precisão da metodologia RIMT para determinar perda de área da seção transversal do cabo. Sugira se existem outros métodos disponíveis para medir a perda de área e força;
- c) Revisar as premissas do projeto para o projeto de recuperação (reforma);
- d) Rever o estudo de trade-off concluído por outros, incluindo a data em que possíveis reformas precisam ser implementadas;
- e) Fornecer informações sobre quaisquer projetos similares implementados em outros lugares da indústria;
- f) Analisar e comentar o projeto conceitual já concluído da solução proposta (projeto de reforma);
- g) Analisar e comentar a engenharia básica atualmente em andamento por outro empresa incluindo aspectos de cronograma e construtibilidade;
- h) Definir os riscos de o cenário “não fazer nada”;
- i) Relatório Final com propostas de recomendações de ações a serem implementadas por KINROSS.

3 DOCUMENTOS FORNECIDOS A STANTEC

A lista de documentos entregues está no ANEXO 8 do relatório da STANTEC.

4 VISITA AS USINAS HIDRELÉTRICAS E REUNIÃO DE FECHAMENTO

A visita ao site foi realizada entre os dias, 21 e 24 de março, participando dos seguintes profissionais:

KINROSS – Eng. Clesio Lira, Eng. Giovanni Carvalho e Eng. Antonio Harley Anselmo – Consultor externo

STANTEC: Eng. Juan Pinasco, Eng. Guillermo Di Pace e Eng. Osvaldo Rafa.

No dia 21 de março foi o deslocamento de Buenos Aires e Belo Horizonte para Goiânia, onde ocorreu uma primeira reunião para definir a agenda da visita as usinas hidrelétricas.

No dia 22 de março deslocamos de Goiânia para Caçu pela manhã. No período da tarde aconteceu a visita a UHE Caçu, nesta visita fomos acompanhados pelo Eng. Clesio Lira. No dia 23 de março foi realizada a visita a UHE Barra dos Coqueiros.

No dia 24 de março foi realizada uma reunião no escritório de Caçu, quando o Eng. Giovanni Carvalho apresentou a inspeção subaquática realizada ROV, podendo assim a equipe da STANTEC ter uma visão das condições das estruturas submersas dos vertedouros. Neste mesmo dia à noite aconteceu o retorno para Belo Horizonte.

Conforme descrito no relatório da STANTEC não foi possível acessar as vigas dos munhões pela escada por motivos de segurança, mesmo assim foram obtidas as seguintes observações:

- a)** Existiam sinais visuais de vazamentos passados através das bainhas de proteção pré-esforço, mas nenhum vazamento ativo foi observado.
- b)** O vazamento incluiu produtos brancos (presumivelmente carbonato de cálcio) e produtos escuros (presumivelmente óxidos de ferro).
- c)** Não foram observadas grandes rupturas de concreto como: formações de etringita retardado, fissuras térmicas ou reações álcalis-sílica, mas os registros técnicos de concreto e componentes não foram disponibilizados para avaliação para desconsiderar completamente esta possibilidade.
- d)** O túnel de instrumentação do Projeto Hidrelétrico Barra dos Coqueiros foi inspecionado. Foram observados vários sinais brancos de eflorescência, alguns deles na área do vertedouro. A instrumentação visualizada não apresentou evidências de grandes interrupções.

No dia 25 de março aconteceu a reunião de fechamento no escritório da KINROSS, quando a STANTEC, nesta oportunidade com outros profissionais da empresa conectados por vídeo chamada, tiveram a oportunidade de buscar informações que julgaram necessária para o desenvolvimento dos trabalhos. Vale ressaltar que nesta reunião estiveram presentes os Engenheiros Paulo Bedê e José Celso, da Bedê Engenharia, que responderam verbalmente todos os questionamentos da STANTEC. As respostas foram enviadas por escrito oficialmente “*a posteriori*”.

Vale ressaltar que também aconteceu uma reunião com a CORDEC, entretanto antes da visita às usinas, devido a disponibilidade da CORDEC, da mesma forma os questionamentos foram respondidos verbalmente e posteriormente encaminhados por escrito. Algumas informações solicitadas pela STANTEC, não foram disponibilizadas pela CORDEC, que alegou segredo industrial.

5 RELATÓRIO DA STANTEC

5.1 VALIDAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PRECISÃO DO RIMT TESTE

O Relatório da STANTEC trás uma avaliação do TDR (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY) que foi método desenvolvido pela Universidade de Delaware e a base para o desenvolvimento do RIMT®. Esta avaliação busca informações na literatura e na experiência do Eng. Guillermo Di Pisce, pesquisador sobre corrosão na Universidade do Sul Flórida. As referências bibliográficas estão listadas no Anexo 1 do relatório.

A STANTEC analisou todos os relatórios dos ensaios realizados pela CORDEC, relatórios de 2016 a 2021. O resultado da análise é bastante similar ao já discutido pelos especialistas contratados e não apresentou algum ponto muito divergente das análises anteriormente feitas. A seguir as observações da STANTEC:

- O resultado significa que os graus de corrosão e vazios são apenas descritivos e não mensuráveis.
- Os valores elétricos de impedância não foram disponibilizados para validação da corrosão e das dimensões vazias.
- O relatório técnico "Avaliação da Aplicação do Método RIMT® em Tirantes" (Reforço Engenharia / Noh Engenharia / Cordec do Brasil) não

foi disponibilizado. O relatório técnico descreve os testes experimentais realizados em vigas, ligando barras de reforço e defeitos de vazios produzidos propositalmente às saídas elétricas da RIMT®.

Devido à falta de informação sobre os parâmetros elétricos e a ausência de procedimentos de calibração para o método da RIMT®, a STANTEC conclui que esse método não pode ser aceito como única opção para estabelecer a magnitude dos espaços vazios e da corrosão das cordoalhas pretendidas.

Para determinar a necessidade de implementar medidas corretivas e estimar o tempo disponível para a conclusão dessa tarefa, a STANTEC recomenda que os níveis de degradação indicados pelo método RIMT® sejam corroborados por técnicas alternativas como: Matriz em fase de pulso ultrassônico, Gamagrafia e/ou sondagem invasiva.

De acordo com a STANTEC todas as tecnologias alternativas sugeridas acima foram investigadas e vários especialistas em testes não-destrutivos e laboratório foram contatados e são consideradas como as mais promissoras.

O detalhamento de cada uma destas tecnologias e a recomendação do local dos testes encontra-se no relatório da STANTEC. Além de sugerir dois laboratórios especializados para execução dos testes, um do Brasil e outro da Argentina.

Em relação a outros métodos de para avaliação quantitativa do processo de corrosão, este tema foi debatido no grupo de consultores especialistas contratados pela KINROSS. Foi levantada a possibilidade do uso de Ultrassonografia, GPR (Ground Penetrate Radar), Radiografia, Tomografia Computadorizada e sondagem invasiva. O consenso do grupo é que nenhuma destas tecnologias seria cem por cento eficaz e o custo-benefício é muito baixo.

5.2 ORIGEM DO PROBLEMA E ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO

A STANTEC acredita que o problema é causado pela entrada de água dos reservatórios nos pilares seria principalmente através das juntas de construção entre o concreto de primeiro e segundo estágios, no bloqueio das ancoragens passivas. Portanto, as medidas de mitigação podem consistir em vedar as juntas com uma solução como a apresentada como um conceito em "Trade off Reinforcement Alternatives" preparadas pela KINROSS.

- A injeção de um produto à base de argamassa cristalizante na presença de umidade (por exemplo, os propostos pela empresa Xypex do Canadá) pode ser utilizada para fins de selagem. Seria necessário um processo de seleção e teste do produto a ser usado. Esta solução poderia ser implementada sem necessidade de diminuir o nível dos reservatórios, utilizando câmaras impermeáveis (ensecadeiras submersas - limpets) que permitem que este trabalho seja realizado seco e em estágios. As características destas câmaras impermeáveis são apresentadas no relatório da STANTEC. Esta alternativa foi descartada devido a segurança para operacionalizar, considerando que as usinas estarão em operação.
- Também foi avaliada pela STANTEC, a possibilidade de implementar selagem subaquática por mergulhadores, entretanto foi considerada inadequada considerando a garantia da qualidade do trabalho, que seria muito difícil e incerto. Esta alternativa também foi descartada pelos especialistas da KINROSS, assim como a STANTEC a opinião é que não teria como garantir a devida impermeabilização, considerando a turbidez da água e ainda os fatores de segurança envolvidos na operação.
- O uso de membranas CARPI TECH, amplamente utilizada no setor, para impermeabilizar apenas a zona de contato entre o concreto de primeiro estágio e o concreto de segundo estágio também não é adequado, pois é difícil garantir a aderência da membrana aos píeres e evitar que a água entre nas bordas. A solução de impermeabilização completa da face de montante dos vertedouros com uma membrana é considerada inviável, uma vez que o reservatório teria de ser rebaixado até ao nível da soleira para implementá-lo. Mesma opinião dos especialistas da KINROSS.
- A solução de reinjeção das bainhas dos cabos através orifícios adjacentes também foi considerada inviável pela STANTEC. De acordo com os resultados dos testes desenvolvidos com o método RIMT, não haveria continuidade nas cavidades. Portanto, não foi possível garantir o preenchimento completo das cavidades.
- A solução proposta por Fractal, conhecida como console, que consiste em adicionar um suporte acima da extremidade a jusante do píer com reforço passivo a jusante da viga munhão, também não foi considerada viável para satisfazer os requisitos de segurança e estruturais pela análise da STANTEC. Assim como já informado pelos especialistas da KINROSS modificaria o layout original do projeto do vertedouro e alteraria como as cargas hidrostáticas são transmitidas das comportas para a estrutura e consequentemente para as fundações.

6 AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS EXISTENTES

Estudos realizados pela STANTEC usando modelagem tridimensional em elementos finitos (FEA 3D) com o software Abaqus revelaram que os coeficientes de segurança na estabilidade estrutural do sistema (vigas munhão e cabos protendidos) são altos, mesmo no caso de ocorrerem perdas significativas na secção transversal dos cabos. **Como os resultados do método RIMT indicaram apenas uma redução discreta da secção transversal de aço devido à corrosão, há uma preocupação mínima sobre o colapso estrutural a curto prazo.**

Com base nos estudos realizados, detalhados no Anexo 2 do relatório, permitiram a STANTEC concluir que com base na hipótese de uma perda uniforme da seção transversal do cabo causada pela corrosão, que os cabos protendidos têm fatores de segurança próximos a 2 até o momento em que ocorre a separação entre o munhão e o pilar do vertedouro (estado limite de descompressão). Os deslocamentos longitudinais antes de atingir esse ponto são muito pequenos e não muito sensíveis a variações na força de pré-esforço restante. A separação é produzida para um pré-esforço de 26% do valor original (2627 kN em cada cabo). Esta situação considera um relaxamento inicial de pré-esforço de 35%, e equivale a uma seção transversal restante do cabo de 40% do valor original.

7 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA POR BEDÊ ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

A STANTEC considera que o reforço externo das vigas munhão e a instalação de novas barras pré-tensionadas, solução proposta pela BEDÊ, é considerada apropriada e eficiente quando tal reforço for necessário. Como preconizado pela BEDE, a implementação exigirá testes preliminares para definir os comprimentos das novas barras pré-tensionadas para garantir a ancoragem correta. À medida que os vertedouros de ambos os projetos estiverem trabalhando, a implementação da solução exigirá um cronograma detalhado e a disponibilidade de grandes equipamentos de construção, guindastes, andaimes e formas, conforme já avaliado pela KINROSS.

Desta forma a STANTEC conclui que em linhas gerais, pode-se mencionar que o reforço externo das vigas de munhão e a instalação de novas barras pré-

tensionadas, como proposto no projeto do Bedê, é considerado apropriado e eficaz, e a STANTEC concorda com o conceito da solução apresentada.

8 SUBSTITUIÇÃO DO REFORÇO EXTERNO DE CONCRETO PROPOSTO POR UMA ESTRUTURA METÁLICA

A sugere avaliar a substituição do reforço externo proposto em concreto por uma estrutura metálica, que poderia tornar a execução mais fácil, reduzindo o tempo de construção e os custos de implantação.

Esta solução também foi avaliada pelos consultores da KINROSS e foi afastada, principalmente pelo aspecto visual. Como as usinas são facilmente visíveis, principalmente a UHE Caçu que está praticamente na zona urbana, uma intervenção com esta solução poderia trazer questionamentos em relação a segurança da usina.

9 CONCLUSÃO

No geral a STANTEC corrobora com os estudos e avaliações executadas pela equipe de especialistas contrata pela KINROSS.

Em relação ao Método RIMT® a STANTEC conclui que esse método não pode ser aceito como única opção para estabelecer a magnitude dos espaços vazios e da corrosão das cordoalhas protendidas e sugere a adoção de outras tecnologias listadas neste relatório.

A STANTEC também considera que a solução proposta pela BEDÊ apropriada e eficiente quando tal reforço for necessário, apenas sugerindo testes preliminares para definir os comprimentos das novas barras pré-tensionadas para garantir a ancoragem correta, conforme projeto da BEDÊ.

A STANTEC conclui como os resultados do método RIMT® indicaram apenas uma redução discreta da seção transversal de aço devido à corrosão, **há uma preocupação mínima sobre o colapso estrutural a curto prazo.**

 KINROSS PARACATU	 FRACTAL ENGENHARIA	UHE CAÇU		
TITULO Revisão Hidrológica e Hidráulica		Nº FORNECEDOR 571-UHECAC-RT-HDD	REV. 5	FOLHA 1/18
		Nº KINROSS Paracatu:		REV.

REVISÕES - FORNECEDOR				
TE: TIPO	A - PRELIMINAR	D - PARA COTAÇÃO	G - CONFORME CONSTRUÍDO	M - APROVADO C COMENTÁRIOS
DE	B - PARA APROVAÇÃO	E - PARA CONSTRUÇÃO	H - CANCELADO	N - NÃO APROVADO
EMIÇÃO	C - P/ CONHECIMENTO	F - CONFORME COMPRADO	L - APROVADO	O - CERTIFICADO

Rev.	TE	Descrição	Por	Rev.	Ver.	Apr	Data
A	B	Emissão inicial	PGL	JDL			28/10/2019
0	B	Atendimento aos comentários	PGL				28/11/2019
1	B	Atendimento aos comentários	PGL	JDL			12/02/2020
2	B	Atendimento aos comentários	PGL				31/08/2020
3	B	Atendimento aos comentários	PGL				25/09/2020
4	B	Verificação hidráulica da atualização da CAV	PGL				23/04/2021
5	L	Documento Aprovado	PGL	-	-	GCM	06/07/2021

EQUIPE DO PROJETO		
Profissional	Assinatura	Data
Preparado por: PGL	PEDRO GUILHERME DE  <small>Dados: 2021.07.06 17:54:23 -03'00'</small>	06/07/2021
Revisado por: -		-
Verificado por: -		-
Aprovado por: GCM	Giorgia Moecke  <small>Assinado de forma digital por Giorgia Moecke Dados: 2021.07.06 18:11:11 -03'00'</small>	06/07/2021

APRESENTAÇÃO

Este relatório é uma complementação da versão referente à revisão 3 do presente estudo, emitido em setembro de 2020. O estudo contempla a verificação hidráulica decorrente da atualização da Curva Cota-Volume do reservatório da UHE Caçu.

GLOSSÁRIO

- **Cheia Natural:** volume d'água defluente devido a evento chuvoso na bacia hidrográfica medido num determinado ponto de interesse. É um evento com comportamento de onda, apresentando ascensão e recessão durante a passagem.
- **Comporta:** elemento mecânico móvel empregado para controle do fluxo d'água.
- **Galgamento:** afogamento de estrutura hidráulica com passagem d'água acima do nível da estrutura.
- **Galgamento técnico:** nível d'água abaixo do nível máximo da estrutura, porém sem atendimento de critérios de borda livre.
- **Hidrograma:** representação gráfica da onda da cheia natural com a variação da vazão em função do tempo.
- **Soleira Controlada:** superfície com admissão controlada por comporta.
- **Soleira Espessa:** tipo de vertedouro sem acabamento com lâmina vertente livre ou deprimida. Caracterizado por apresentar fluxo oscilatório e com ocorrência de cavitação.
- **Soleira Livre:** superfície com livre admissão por onde o fluxo d'água passa.
- **Soleira Normal:** tipo de vertedouro com lâmina vertente aderente. Tipo de estrutura usada em barragens, até chamada de descarregador de barragem.
- **Onda:** Movimento oscilatório da superfície da água induzido por fricção do vento sobre uma pista ou espelho d'água.
- **Vazão:** Volume d'água por unidade de tempo que escoe por uma seção de controle. Vertedouros, pontes, válvulas, entre outros dispositivos hidráulicos.
- **Vertedouro:** extravasor. Paredes ou aberturas com diferentes tipos de soleiras sobre as quais a água escoa.

SUMÁRIO

1	RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS	5
2	INTRODUÇÃO	6
3	REVISÃO HIDRÁULICA.....	6
3.1	CRITÉRIO DA REVISÃO	7
3.2	MODELAGEM.....	7
3.2.1	Equação do vertedor	7
3.2.2	Obtenção da Capacidade Máxima do Vertedor.....	8
3.3	RESULTADOS DA REVISÃO HIDRÁULICA.....	11
3.3.1	Comporta inoperante	14
3.3.2	Nível de Jusante	16
3.3.3	Borda Livre	16
4	RECOMENDAÇÕES	17
	REFERÊNCIAS	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma das atividades de revisão hidráulica.....	6
Figura 2. Corte de vertedor controlado por sistema de comportas segmento.....	8
Figura 3. Vertedouro de superfície controlada – UHE Caçu – Corte em seção.	10
Figura 4. Vertedouro de superfície controlada – UHE Caçu – Planta baixa.....	10
Figura 5. Resultados da verificação hidráulica do vertedouro no eixo da estrutura.	12
Figura 6. Resultados da verificação hidráulica do vertedouro no eixo da estrutura – Comporta inoperante.....	15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da verificação hidráulica.	13
Tabela 2. Resumo de cotas em relação às estruturas associadas.....	13
Tabela 3. Resumo de cotas em relação às estruturas associadas.....	16
Tabela 4. Nível de jusante Máximo Maximorum.	16

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Atendimento de defluência – Sistema totalmente operacional.	5
Quadro 2. Atendimento de defluência – Sistema uma 1 comporta inoperante.....	5
Quadro 3. Informações resumidas do Vertedouro de Superfície Controlada.	9
Quadro 4. Valores de Borda Livre em metros [m].....	17

1 RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Da revisão 3, emitida em setembro de 2020, para a presente revisão, o manual de operação hidráulica do reservatório foi instituído e incorporado aos procedimentos gerenciais do empreendimento da UHE Caçu.

A presente relatório traz resultados da verificação do efeito da atualização da Curva Cota-Volume do reservatório da UHE Caçu na capacidade de defluência do empreendimento. É notado que o reservatório, conforme dados de projeto, sofreu uma redução de volume evidenciada pelo levantamento batimétrico realizado no ano de 2020.

Neste relatório, para fins de objetividade, os resultados dos cálculos das afluições foram suprimidos, uma vez que estão nas versões anteriores e especialmente em relação à versão 3.

A resposta hidráulica reservatório e a capacidade dos dispositivos de descarga são foco da presente análise. Com 19% de diminuição de volume total e 17 % do volume útil do reservatório, aumentou a demanda sobre a capacidade dos vertedouros.

Abaixo estão quadros resumo dos resultados hidráulicos obtidos para o sistema de comportas totalmente operacional e com 1 comporta inoperante.

Cor de classificação	Legenda
	Atendimento de borda livre sem sobrelevação de NAR ¹ (Seguro)
	Atendimento de borda livre com sobrelevação de NAR (Seguro)
	Não atendimento de borda livre com sobrelevação NAR (Não Seguro)
	Galgamento de estruturas (Não Seguro)

Quadro 1. Atendimento de defluência – Sistema totalmente operacional.

TR anos	99% Cheia do Limite Inferior	50% Cheia da Tendência Central	1% Cheia do Limite Superior
2			
100			
500			
1.000			
10.000			

Quadro 2. Atendimento de defluência – Sistema uma 1 comporta inoperante.

TR anos	99% Cheia do Limite Inferior	50% Cheia da Tendência Central	1% Cheia do Limite Superior
2			
100			
500			
1.000			
10.000			

¹ NAR: Nível d'Água do Reservatório

Conclusão:

- Para o **sistema de comportas totalmente funcional** o empreendimento é operável em segurança;
- Para o **sistema de comportas parcialmente funcional** o empreendimento é operável em segurança até cheias de 100 anos de recorrência. Para 500 anos pode ocorrer sobrelevação com perda de borda livre e a partir de 1.000 anos pode ocorrer o galgamento das estruturas de concreto.

2 INTRODUÇÃO

A revisão hidrológica e hidráulica é uma atividade de consultoria prevista em contrato, na qual foi realizada a atualização das informações hidrológicas para a UHE Caçu, bem como realizado estudo para verificação das vazões máximas e da capacidade de vertimento.

O presente relatório é uma verificação hidráulica com base na atualização da CAV do reservatório da UHE Caçu. É determinado como a capacidade de armazenamento do reservatório e a capacidade de defluência dos vertedouros foram afetados.

3 REVISÃO HIDRÁULICA

A revisão hidráulica da capacidade de descarga do vertedor seguiu o fluxograma de atividades apresentado na Figura 1.

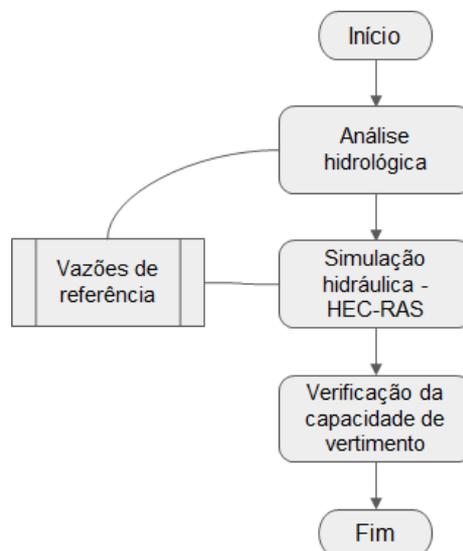


Figura 1. Fluxograma das atividades de revisão hidráulica.

3.1 CRITÉRIO DA REVISÃO

O critério de revisão hidráulica do vertedouro segue a diretriz de ANA (2010), com uso de uma cheia com período de retorno de 10.000 anos, com verificações para 2, 100, 500 e 1.000 anos. A vazão extrema é verificada somente sobre o vertedouro, sem considerar estruturas para outros fins dos recursos hídricos (turbinas e vazões de múltiplos usos).

ELETROBRAS (2003) indica que o reservatório deve permanecer, no período de operação, na cota determinada no projeto como Nível Normal, não exceder o Nível Máximo Maximorum e atender aos critérios de segurança estrutural quanto à borda livre e Fator de Segurança. Neste caso, não é considerado na premissa de projeto a geração de ondas pelo efeito do vento durante a passagem de uma cheia natural. O efeito de ondas é contabilizado para a operação em condição Normal.

3.2 MODELAGEM

O estudo foi embasado na construção de um modelo conceitual utilizando a ferramenta computacional HEC-RAS² (HEC, 2016). Este caracteriza-se por ser um modelo numérico hidrodinâmico com solução unidirecional e bidimensional, contemplando a distribuição do fluxo ao longo da região definida. Este modelo é difundido mundialmente com diversas aplicações em diferentes condições, sendo recomendado pela FEMA (Federal Emergency Management Agency) nos EUA.

O software utiliza as equações da conservação da continuidade de volume e quantidade de movimento do escoamento unidirecional, seguindo os métodos propostos por Navier Stokes. Propiciando condições para que possam ser desenvolvidas simulações em regime não-permanente envolvendo variáveis de contorno ao longo do tempo.

O presente estudo avaliou o comportamento de hidrogramas de projeto propagados ao longo do reservatório da UHE Caçu até o vertedouro do empreendimento, considerando os efeitos de translação e abatimento do reservatório sobre a onda.

3.2.1 Equação do vertedor

A descarga de um vertedouro controlado por sistema de comportas com perfil Creager é definida e generalizada como:

$$Q = C * \sqrt{2g} * L * T^{TE} * B^{BE} * H^{HE} \quad (1)$$

² Ferramenta computacional HEC-RAS. <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>>.

Sendo C o coeficiente de descarga [adm]; g a aceleração da gravidade [m/s^2], L o comprimento da soleira [m], T a altura entre a soleira e o eixo do mancal da comporta [m], B a abertura da comporta ou do sistema de comporta [m], H a carga hidráulica sobre a soleira [m] e as potências (TE , BE e HE) são coeficientes de ajuste da equação.

Para o sistema de comportas da UHE Caçu, com base nos valores de referência de capacidade de descarga apresentados no projeto básico, os parâmetros da equação de vertedouro controlado por comporta foram aproximados iguais a:

- $C = 0,70$;
- $TE = 0,00$;
- $HE = 0,50$; e,
- $BE = 0,9775$.

As aproximações foram guiadas pela curva de protótipo do modelo físico reduzido do sistema de comportas e vertedouro da UHE Caçu. A ficha do projeto básico indica capacidade de vertimento do vertedouro igual a $2.658 \text{ m}^3/\text{s}$. Porém, na carga de projeto com abertura total, memória de cálculo do projeto básico indica vertimento máximo de $2.533 \text{ m}^3/\text{s}$, uma diferença de $125 \text{ m}^3/\text{s}$.

A Eq.(1) ainda é influenciada pelos níveis d'água a montante e a jusante do sistema de comportas, conforme ilustração da Figura 2, em casos onde existe afogamento das comportas pelo nível de montante.

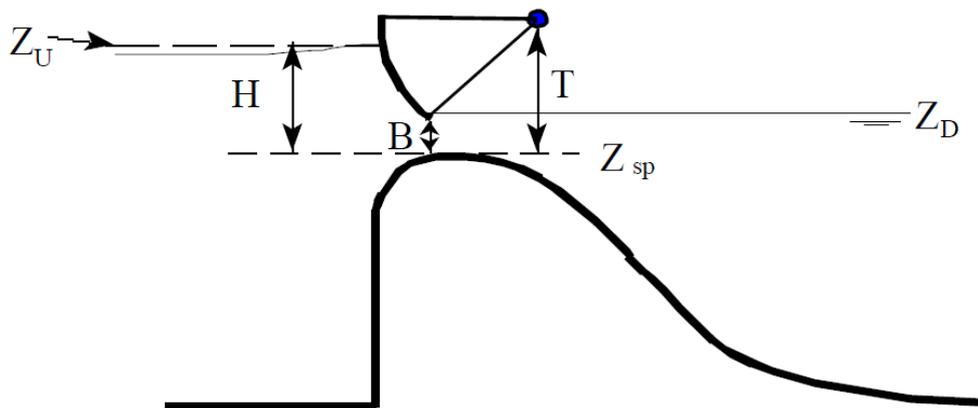


Figura 2. Corte de vertedor controlado por sistema de comportas segmento.
Fonte: HEC (2010).

3.2.2 Obtenção da Capacidade Máxima do Vertedor

A metodologia proposta utilizou a vazão Decamilenar, bem como outras vazões de referência, calculada na revisão hidrológica, para avaliar o comportamento da reposta hidrológica em relação da carga hidráulica de projeto do vertedouro.

No Quadro 3 está o resumo dos parâmetros geométricos de projeto do vertedouro e das estruturas das barragens usados no modelo numérico hidráulico.

Quadro 3. Informações resumidas do Vertedouro de Superfície Controlada.

Tipo	Superfície Livre
Número de vãos	3
Perfil	Creager com Escadas Dissipadoras e Salto
Capacidade ³	2.658 m ³ /s
Carga hidráulica	12,45 m
Largura do vão/Comporta	9,20 m
Altura da Comporta	12,95 m
Cota da soleira vertente	464,55 m-IBGE
Cota NA MAXMAX ⁴	477,00 m-IBGE
Crista da Barragem de Concreto ⁵	479,00 m-IBGE
Crista da Barragem de Terra/Enrocamento	480,00 m-IBGE
Volume reservatório	227,45 hm ³

Os níveis operacionais do reservatório da UHE Caçu estão indicados na Ficha Técnica do Projeto Básico. Estão definidos os seguintes níveis operacionais do reservatório:

- N.A Mínimo Normal: 475,00 [m-IBGE];
- N.A Máximo Normal: 477,00 [m-IBGE];
- N.A Máximo Maximorum: 477,00 [m-IBGE].

O reservatório possui uma característica operacional de que os níveis Normal e Maximorum são idênticos. Logo, toda a regulação deverá ser realizada via operação de comportas para atendimento dos níveis de projeto.

A Barragem Caçu possui dois tipos de estruturas de barragem, barragens de enrocamento nas margens e estruturas de concreto (barragem de concreto, casa de força e vertedouro), com cotas de crista distintas. As estruturas de concreto estão coroadas (geratriz superior do bloco de concreto) na cota 479,00 [m-IBGE]. As estruturas do vertedouro estão ilustradas na Figura 3.

³ Projeto básico UHE Caçu – Civil – Memória de cálculo dos dimensionamentos hidráulicos. 8958/00-3H-0001. Revisão A. 2007.

⁴ Nível Máximo Maximorum

⁵ Não são considerados os guarda-corpos.

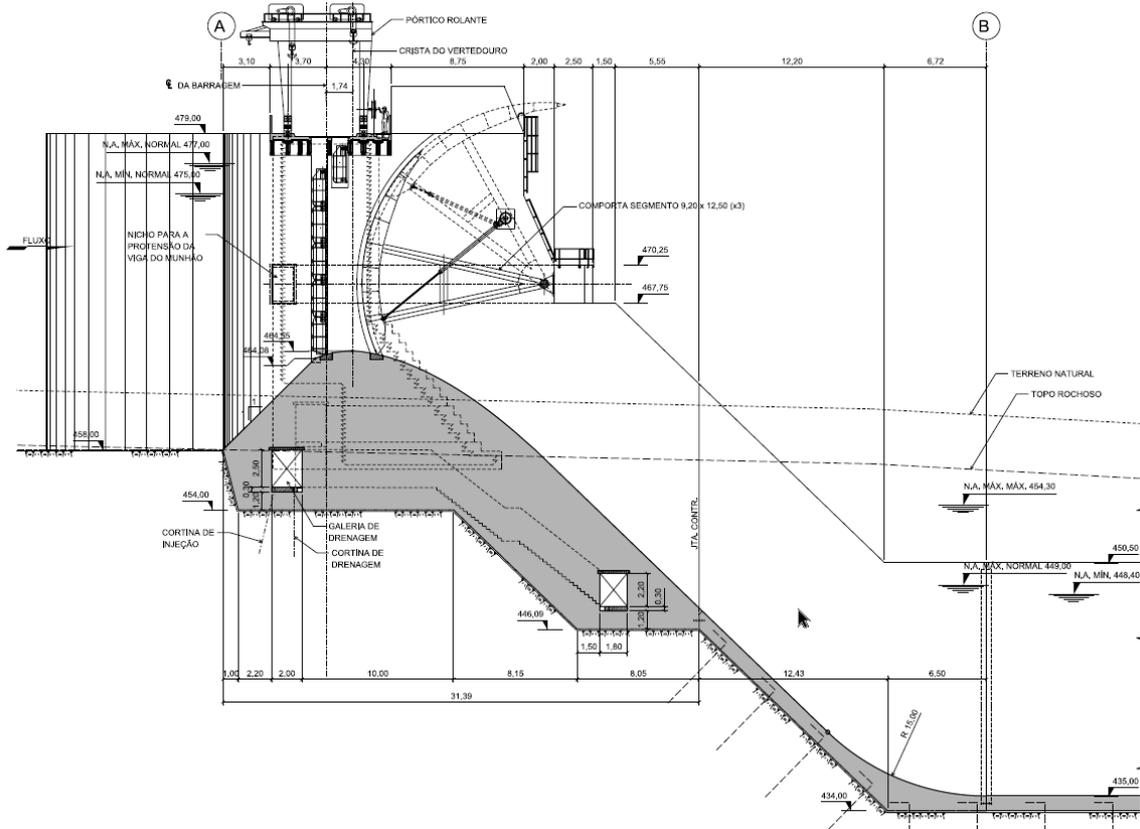


Figura 3. Vertedouro de superfície controlada – UHE Caçu – Corte em seção⁶.

Fonte: Kinross.

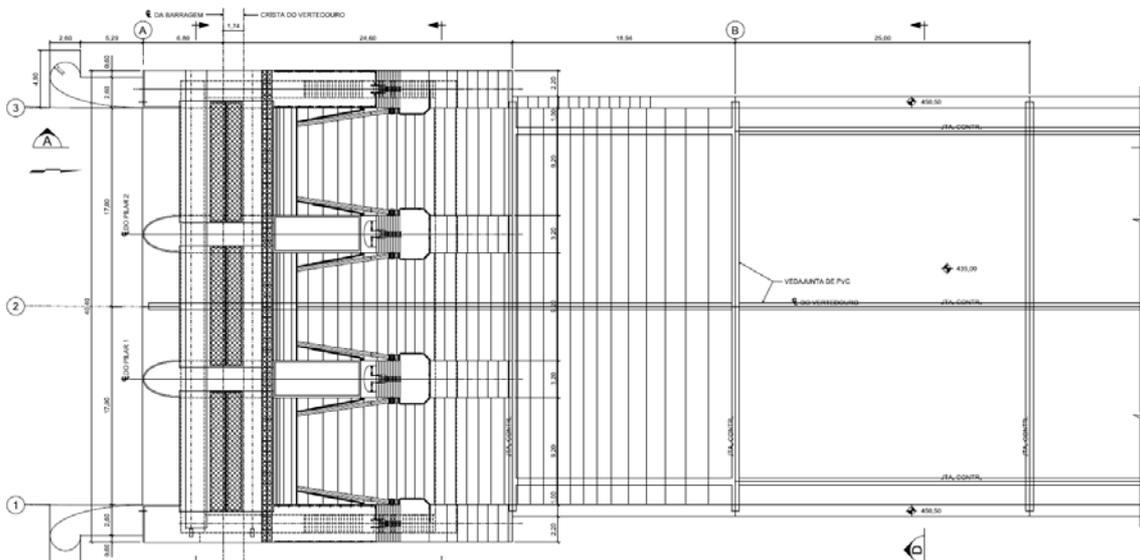


Figura 4. Vertedouro de superfície controlada – UHE Caçu – Planta baixa⁷.

Fonte: Kinross.

⁶ UHE Caçu – Projeto Básico – Civil – Vertedouro – Arranjo – Seção A-A. 8958/00-3F-DE-0051. Revisão D. 2007.

⁷ UHE Caçu – Projeto Básico – Civil – Vertedouro – Arranjo – Planta EL. 479,00. 8958/00-3F-DE-0054. Revisão D. 2007.

3.3 RESULTADOS DA REVISÃO HIDRÁULICA

A verificação hidráulica com os novos dados do levantamento batimétrico do reservatório revelou alterações no comportamento da resposta do reservatório e dos dispositivos de descarga. Uma diminuição do volume total, e principalmente do volume útil, do reservatório foi notada determinaram uma redução da capacidade de armazenamento do reservatório.

As simulações mostraram que para o sistema de comportas totalmente operativo, a única alteração de comportamento foi para o caso do limite superior (1%) da cheia Decamilenar com sobrelevação de 84 cm. Essa sobrelevação foi 10 cm maior do que na verificação com dados da CAV levantados em projeto.

Porém, em caso de 1 comporta inoperante, as condições operativas são adversas a partir de recorrências iguais ou superiores a 500 anos. O reservatório não apresenta capacidade suficiente de amortecimento das cheias e há risco eminente de galgamento das estruturas de concreto.

Na Figura 5 está ilustrado o comportamento hidráulico do reservatório devido às afluências dos hidrogramas de projeto na condição de sistema de comportas totalmente operacional.

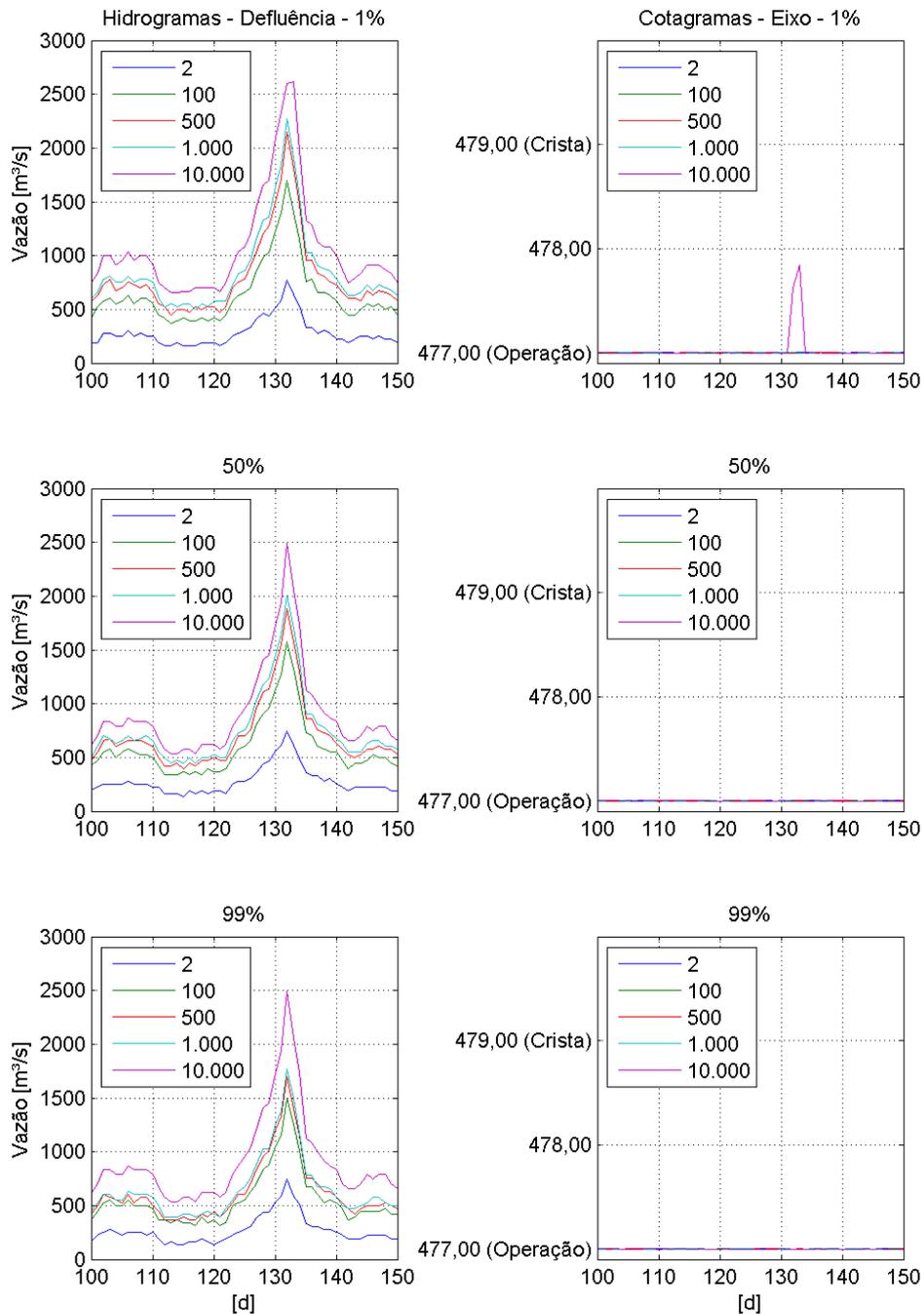


Figura 5. Resultados da verificação hidráulica do vertedouro no eixo da estrutura.

Na Tabela 1 está resumida a verificação hidráulica do vertedouro da UHE Caçu para os períodos de retorno de 2, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos. As variáveis sumarizadas são: Vazão de pico, Cota de pico da linha d'água, Carga hidráulicas, Razão carga hidráulica por carga de projeto e Coeficiente de vazão da estrutura do vertedouro.

Tabela 1. Resumo da verificação hidráulica⁸.

Período de retorno	Qpico [m³/s]	Cota [m-IBGE]	CH [m]	Abertura H [m]	Qvão [m³/s]
Probabilidade de 1%					
Tr 2 anos	768	477,00	12,45	2,50	256
Tr 100 anos	1694	477,00	12,45	6,00	565
Tr 500 anos	2152	477,00	12,45	7,40	717
Tr 1.000 anos	2272	477,00	12,45	8,10	757
Tr 10.000 anos	2618	477,84	13,29	9,80	873
Probabilidade de 50%					
Tr 2 anos	742	477,00	12,45	2,45	247
Tr 100 anos	1573	477,00	12,45	5,60	524
Tr 500 anos	1888	477,00	12,45	6,50	629
Tr 1.000 anos	2008	477,00	12,45	7,00	669
Tr 10.000 anos	2494	477,00	12,45	8,70	831
Probabilidade de 99%					
Tr 2 anos	742	477,00	12,45	2,40	247
Tr 100 anos	1500	477,00	12,45	5,00	500
Tr 500 anos	1694	477,00	12,45	5,80	565
Tr 1.000 anos	1767	477,00	12,45	6,10	589
Tr 10.000 anos	2494	477,00	12,45	7,00	831

Na Tabela 2 estão resumidos os resultados das diferenças de cotas entre a crista das estruturas de concreto e as cotas operativas no reservatório dos eventos hidrológicos analisados.

Tabela 2. Resumo de cotas em relação às estruturas associadas.

Período de retorno	Cota d'água [m-IBGE]	Borda livre - Cota 479 [m-IBGE]
Probabilidade 1%		
Tr 2 anos	477,00	2,00
Tr 100 anos	477,00	2,00
Tr 500 anos	477,00	2,00
Tr 1.000 anos	477,00	2,00
Tr 10.000 anos	477,84	1,16
Probabilidade 50%		
Tr 2 anos	477,00	2,00
Tr 100 anos	477,00	2,00
Tr 500 anos	477,00	2,00
Tr 1.000 anos	477,00	2,00
Tr 10.000 anos	477,00	2,00
Probabilidade 99%		
Tr 2 anos	477,00	2,00
Tr 100 anos	477,00	2,00
Tr 500 anos	477,00	2,00
Tr 1.000 anos	477,00	2,00
Tr 10.000 anos	477,00	2,00

⁸ Aberturas simétricas e iguais.

A borda livre da UHE Caçu é igual a 1,16 m, para o reservatório na cota 477,84 [m-IBGE], para o limite superior da cheia Decamilenar. Para os demais casos, o reservatório permanece fio d'água. Segundo USBR (1987, 2012), a recomendação é de, no mínimo, 1 m de borda livre em condição excepcional determinada em projeto. ELETROBRAS (2003) indica, para estruturas de concreto, uma borda livre mínima de 0,50 m. Usando o critério de borda livre, mesmo com a sobrelevação do reservatório, a Barragem Caçu atende requisitos e diretrizes de engenharia para referências nacionais e internacionais.

3.3.1 Comporta inoperante

Em caso de inoperância de uma comporta⁹¹⁰, os mesmos hidrogramas de projeto foram simulados sobre a estrutura hidráulica do vertedouro da UHE Caçu. Na Figura 6 estão ilustrados os hidrogramas e cotogramas no eixo da estrutura do vertedouro.

⁹ Em caso de duas ou todas as comportas inoperantes, a situação deve ser tratada com procedimento específico no manual de operação hidráulico do reservatório.

¹⁰ Duas comportas inoperantes determinam o galgamento total da barragem para 10.000 anos.

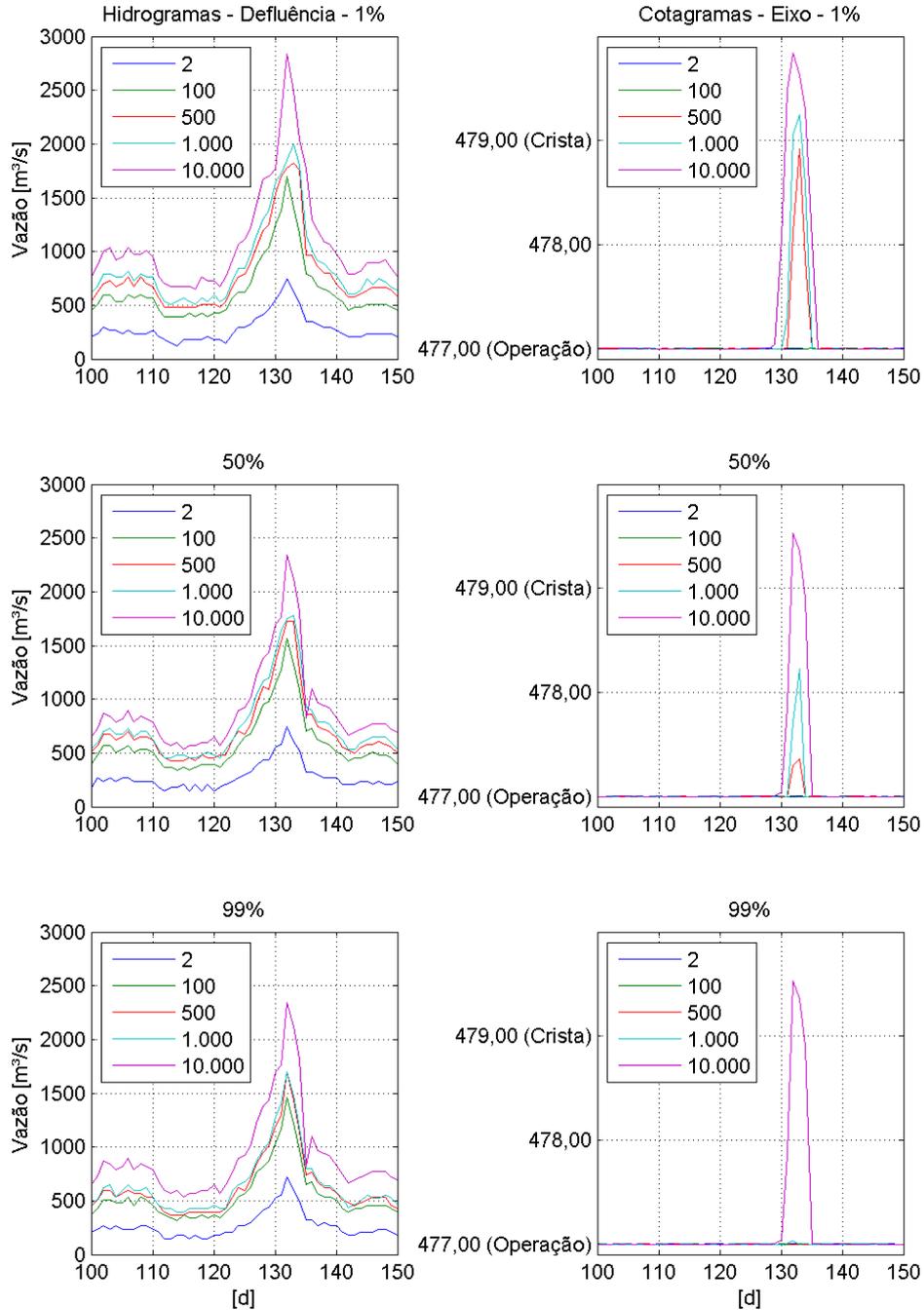


Figura 6. Resultados da verificação hidráulica do vertedouro no eixo da estrutura – Comporta inoperante.

Na Tabela 3 estão resumidos os resultados das diferenças de cotas entre a crista das estruturas de concreto e as cotas operativas no reservatório dos eventos hidrológicos analisados. As estruturas de terra/enrocamento estão ainda 1 m a cima das estruturas de concreto (cota 480 m-IBGE).

Tabela 3. Resumo de cotas em relação às estruturas associadas.

Período de retorno	Cota d'água [m-IBGE]	Borda livre - Cota 479 [m-IBGE]
Probabilidade 1%		
Tr 2 anos	477,00	2,00
Tr 100 anos	477,00	2,00
Tr 500 anos	478,92	0,08
Tr 1.000 anos	479,24	Galgamento
Tr 10.000 anos	479,84	Galgamento
Probabilidade 50%		
Tr 2 anos	477,00	2,00
Tr 100 anos	477,00	2,00
Tr 500 anos	477,36	1,64
Tr 1.000 anos	478,23	0,77
Tr 10.000 anos	479,53	Galgamento
Probabilidade 99%		
Tr 2 anos	477,00	2,00
Tr 100 anos	477,00	2,00
Tr 500 anos	477,00	2,00
Tr 1.000 anos	477,03	1,97
Tr 10.000 anos	479,53	Galgamento

3.3.2 Nível de Jusante

Com a defluência para o período de retorno de 10.000 anos, o nível Máximo Maximorum no canal de fuga foi avaliado. Na Tabela 4 está o resumo de resultados para as cotas de jusante no canal de fuga da Casa de Força em relação à cota verificada na fase de projeto.

Tabela 4. Nível de jusante Máximo Maximorum.

Condição	Cota [m-IBGE]	Observação
Projeto	454,30	Referência de projeto ¹¹
Revisão hidráulica (1%)	453,79±0,50	Simulação numérica
Revisão hidráulica (50%)	453,66±0,50	Simulação numérica
Revisão hidráulica (99%)	453,12±0,50	Simulação numérica

Pela revisão feita com a simulação hidráulica, a cota de jusante referente ao Nível Máximo Maximorum é atendida.

3.3.3 Borda Livre

A borda livre das estruturas de concreto e terra/enrocamento foi calculada com base em diretrizes de projeto da Eletrobrás na fase de projeto básico e seguidas na execução das obras. No Quadro 4 está o resumo dos valores aplicados no projeto da UHE Caçu.

¹¹ UHE CAÇU – Projeto Básico – Tomada d'água – Casa de Força – Arranjo – Seção Típica. 8958/00-3F-DE-0011. Revisão D. Março de 2007.

Quadro 4. Valores de Borda Livre em metros [m].

Estrutura	Borda Livre Projeto	Borda Livre Normal	Borda Livre Mínima
Concreto ¹²	2,00	1,50	0,50
Terra/Enrocamento	3,00	3,00	1,00

A Borda Livre Normal é considerada para o reservatório operado em Nível d'Água Normal. E para a Borda Livre Mínima é aplicado o Nível d'Água Maximorum. Porém, o reservatório da UHE Caçu tem a mesma cota operacional para as duas condições. Então, o projeto atende adequadamente às diretrizes de projeto preconizado por Eletrobrás (2003).

4 RECOMENDAÇÕES

As recomendações aplicáveis são:

- Revisão hidrológica, das afluições, a cada 5 anos até no máximo 10 anos, contados a partir do ano de 2020.
- Revisão hidráulica da capacidade de defluência do empreendimento a cada 5 anos até no máximo 10 anos, contados a partir do ano de 2020.
- Com a atualização da CAV do reservatório da UHE Caçu, o Manual de Operação Hidráulica do Reservatório deverá ser revisado.

¹² Sem contabilização dos guarda-corpos.

REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/236-2017.pdf> >, acesso em 01 jun. 2018.
- ANEEL – Agência Nacional de energia elétrica. Resolução Normativa nº 696, de 15 de dezembro de 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015696.pdf>>, acesso em 01 jun. 2018.
- DINGMAN, S. L. Physical Hydrology. Waveland Press, Inc. Long Grove, Illinois, 2008, 646p.
- ELETROBRAS/CBDB. Critérios de projeto civil de usinas hidrelétricas. Outubro. 2003.
- GUPTA, R. S. Hydrology and Hydraulic Systems. Waveland Press, Inc. Long Grove, Illinois, 2008, 896p. 2008.
- HEC. River Analysis System, HEC-RAS v5.0 – Hydraulic Reference Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 539p, USA, 2016.
- HDC – Hydraulic Design Criteria. Corps Engineers. Waterways Experiment Station. U.S. Army Engineer. Vicksburg, Mississippi. 1959.
- SOKOLOV, A.A.; RANTZ, S.E.; ROCHE, M. Flood flow computation. Paris Unesco. 194p. 1975.
- U.S. Bureau of Reclamation. Design of Small Dams, 3rd Edition, 1987, 860 pp.
- U.S. Bureau of Reclamation. Design Standards No. 13: Embankment Bams. DS-13(6)-2. 2012, 60 pp.

APRESENTAÇÃO

O **objetivo** do presente estudo consiste na análise hidrodinâmica para **verificar e validar a cota de inundação nos canais de restituição e fuga da UHE Caçu**.

Adicionalmente, o padrão de escoamento na região a jusante é analisado para fundamentação de recomendações e diretrizes de levantados e projetos complementares.

O presente estudo faz parte do primeiro ciclo de estudos do comportamento hidrodinâmico a jusante do eixo da UHE Caçu nos canais de fuga e restituição.



SUMÁRIO

1	CONCLUSÃO	7
1.1	COTAS DE INUNDAÇÃO	8
1.2	PONTOS SUSCEPTÍVEIS À EROÇÃO	9
1.2.1	Regiões do Abraço – BTME e Espigão	10
1.2.2	Região do Septo	12
1.2.3	Região da Margem Esquerda	12
1.2.4	Material de Proteção	12
2	RECOMENDAÇÕES	14
3	INTRODUÇÃO	17
3.1	ARRANJO GERAL	17
4	MODELO HIDRÁULICO	18
5	DADOS DE ENTRADA	19
5.1	MODELO CONCEITUAL	20
5.2	CENÁRIOS DE RESTRIÇÃO DE JUSANTE	21
6	RESULTADOS	22
6.1	PERÍODO DE RETORNO DE 2 ANOS	26
6.2	PERÍODO DE RETORNO DE 100 ANOS	27
6.3	PERÍODO DE RETORNO DE 10.000 ANOS	28
6.4	PONTOS DE MONITORAMENTO DE EROÇÃO	29
6.5	AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À EROÇÃO	30
	REFERÊNCIAS	32



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pontos susceptíveis a processos erosivos.	10
Figura 2. Indicação de erosões no Septo.	12
Figura 3. Campo de Froude.....	14
Figura 4. Plano de linhas sugerido.	16
Figura 5. Proposição de área de lançamento de Enrocamento de Proteção.	16
Figura 6. Vista geral do empreendimento.	18
Figura 7. Modelo HEC-RAS conceitual.....	21
Figura 8. Vazões defluentes – Condição de contorno.....	22
Figura 9. Perfil de controle do nível de água de jusante.	23
Figura 10. Padrão de circulação no Septo – TR 2 anos.....	26
Figura 11. Padrão de circulação no Septo e no Abraço – TR 100 anos.....	27
Figura 12. Padrão de circulação no Septo e no Abraço – TR 10.000 anos.....	28
Figura 13. Regiões de monitoramento de erosão.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Cotas de referência do projeto.....	8
Tabela 2. Diâmetro mínimo de agregado – Arraste.	13
Tabela 3. Vazões do rio Claro no eixo da UHE Caçu.	19
Tabela 4. Níveis de água de jusante para os cenários analisados.	23
Tabela 5. Níveis de água de jusante de referência.	24
Tabela 6. Diâmetro mínimo para resitência ao escoamento.	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Síntese.	7
Quadro 2. Vorticidade na saída do Canal de Fuga.	9
Quadro 3. Região de interesse para recomposição do Ep.....	11
Quadro 4. Especificação do enrocamento para UHE Caçu.	14
Quadro 5. Resumo de dados empregados no estudo hidrodinâmico da UHE Caçu.	19

1 CONCLUSÃO

Com o presente estudo, três resultados importantes de planejamento da manutenção das estruturas civis associadas da UHE Caçu foram obtidos:

1. Validação e entendimento das cotas de inundação nos canais de fuga e restituição;
2. Cálculo das direções de fluxo seguido do mapeamento de áreas susceptíveis a processos erosivos;
3. Cálculo dos tamanhos de diâmetros mínimos de agregado a ser usado como enchimento e proteção e pesquisa documental do Enrocamento de Proteção (Ep) indicado pela projetista para uso nas regiões mapeadas;
4. Condição atual da barragem classificada como NORMAL¹;
5. Integração das recomendações do estudo no Master Plan da usina.

O presente estudo determina diretrizes a serem seguidas para aperfeiçoamento dos resultados qualitativos de transporte de sedimentos. Dois tipos de processos de transporte de sedimentos ocorrem na região a jusante, principalmente no canal de restituição, o movimento por arraste e movimento de massa (*bulk flow*) por onda gravitacional. Aplica-se:

- Movimento por arraste é determinado pelo escoamento da água e representado diretamente pela variável hidráulica de Tensão de Cisalhamento;
- Movimento de massa (*bulk flow*) é determinado por formação de ondas gravitacionais e estimado pela variável hidráulica de Número de Froude.

As conclusões a respeito dos processos de transporte de sedimentos implicam risco baixo sobre as estruturas civis associadas e direcionam as atenções dos gestores para o planejamento de ações e manutenções. Sistemáticamente, o presente estudo integra resultados hidráulicos aos resultados do acompanhamento das Inspeções de Segurança Regulares – ISR.

No Quadro 1 está a síntese dos resultados de forma mais objetiva de todos os detalhes técnicos aprofundados no relatório.

Quadro 1. Síntese.

Local	Processo – Gatilho	Inunda ou galga	Risco à segurança da barragem	Frequência
Casa de Força	Inundação	Não	Baixo.	1:10.000 anos <1% do tempo

¹ UHE Caçu. Inspeção de Segurança Regular – ISR. 2020. 600-CAC-RT-ISR-020.

Abraço + BTME	Erosão	Não	Baixo. Processo ativo por arraste e onda gravitacional e com progressão lenta. Proteção com sinais de intemperismo.	Operação do vertedouro <10 % do tempo
Septo	Erosão e inundação	Sim	Não se aplica. Processo ativo por arraste com progressão moderada.	Operação do vertedouro <10% do tempo >1:1.000 anos
Margem esquerda	Erosão	Sim	Não se aplica	<1% do tempo
Espigão	Erosão	Não	Baixo. Proteção com sinais de intemperismo e ação por arraste e onda gravitacional.	Operação do vertedouro <10 % do tempo

1.1 COTAS DE INUNDAÇÃO

As cotas de inundação para o período de retorno Decamilenar estão de acordo com os valores indicados na fase de projeto, bem como de acordo com as verificações realizadas na Revisão Hidrológica e Hidráulica. Não foram identificados fenômenos de remanso no Canal de Fuga devida à operação do vertedouro.

Na Tabela 1 estão resumidas a cota de projeto e as cotas verificadas e validadas. Com a defluência da Decamilenar compartilhada entre Vertedouro e Turbinas, a cota de inundação fica de 0,5 m até 1,0 m inferior ao definido em projeto. Com as cotas indicadas mantem-se a referência de inundação para a Casa de Força com borda livre superior a 4 m em relação ao piso externo. A presente condição garante confortável segurança à Casa de Força.

Tabela 1. Cotas de referência do projeto.

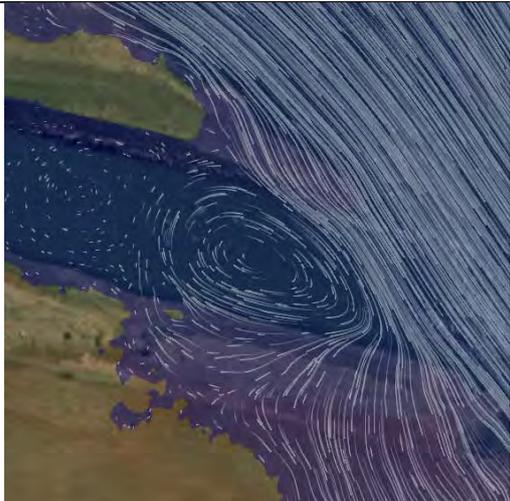
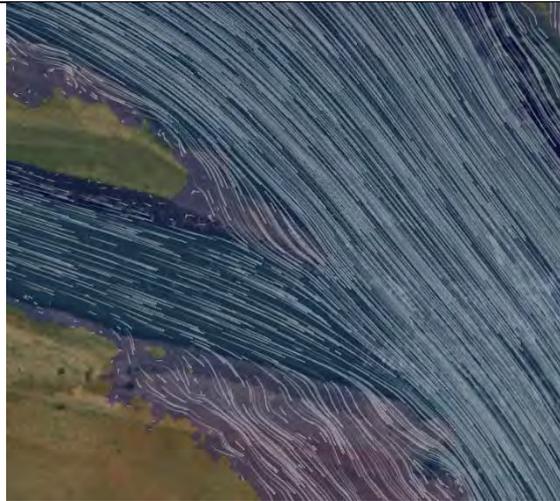
Cenário	Canal de Restituição	Canal de Fuga
Piso externo – Casa do Força ²	458,40	
TR 10.000 anos (Projeto)	454,30	
TR 10.000 anos (Vert.)	453,97	453,64
TR 10.000 anos (Vert. + Turb.)	453,58	453,37

Caso o vertedor seja operado como único dispositivo de defluência, sem o engolimento de vazão pelas turbinas, existe a formação de uma vorticidade na saída do Canal de Fuga, o

² UHE Caçu. Projeto Básico. Civil. Toamda d'Água - Casa de Força. Arranjo. Vista de Jusante. 8958/00-3F-DE-0025.

que pode resultar ao longo do tempo numa região de deposição de material carreado do canal de restituição (Quadro 2). Tal fenômeno foi representado na fase de projeto com as simulações do modelo físico reduzido e similarmente identificado na simulação hidrodinâmica. Tal constatação não determina risco à operação da usina no curto ou médio prazo, porém deve ser usada como referência para levantamentos batimétricos dos canais de fuga e restituição.

Quadro 2. Vorticidade na saída do Canal de Fuga.

Vertimento sem operação de turbina	Vertimento com operação de turbina
	

A estrutura do Septo poderá ser galgada para eventos com período de retorno superiores a 1.000 anos. Nesses casos, o galgado inicia-se de forma intermitente e se consolida com o aumento das vazões até a Decamilenar. A defluência de grandes vazões de forma compartilhada entre turbinas e vertedouro amezina as cotas nos canais de fuga e restituição, diminuindo as chances de galgamento do Septo.

1.2 PONTOS SUSCEPTÍVEIS À EROSÃO

A jusante do eixo da UHE Caçu, foram identificados 4 pontos susceptíveis de erosão por arraste e ou ondulação denominados (Figura 1): (i) abraço da barragem de enrocamento, (ii) Septo entre o canal de fuga e canal de restituição, (iii) Margem esquerda do rio Claro na confluência entre o canal de fuga e o canal de restituição, e (iv) o espigão de proteção da barragem de terra e enrocamento da margem esquerda.

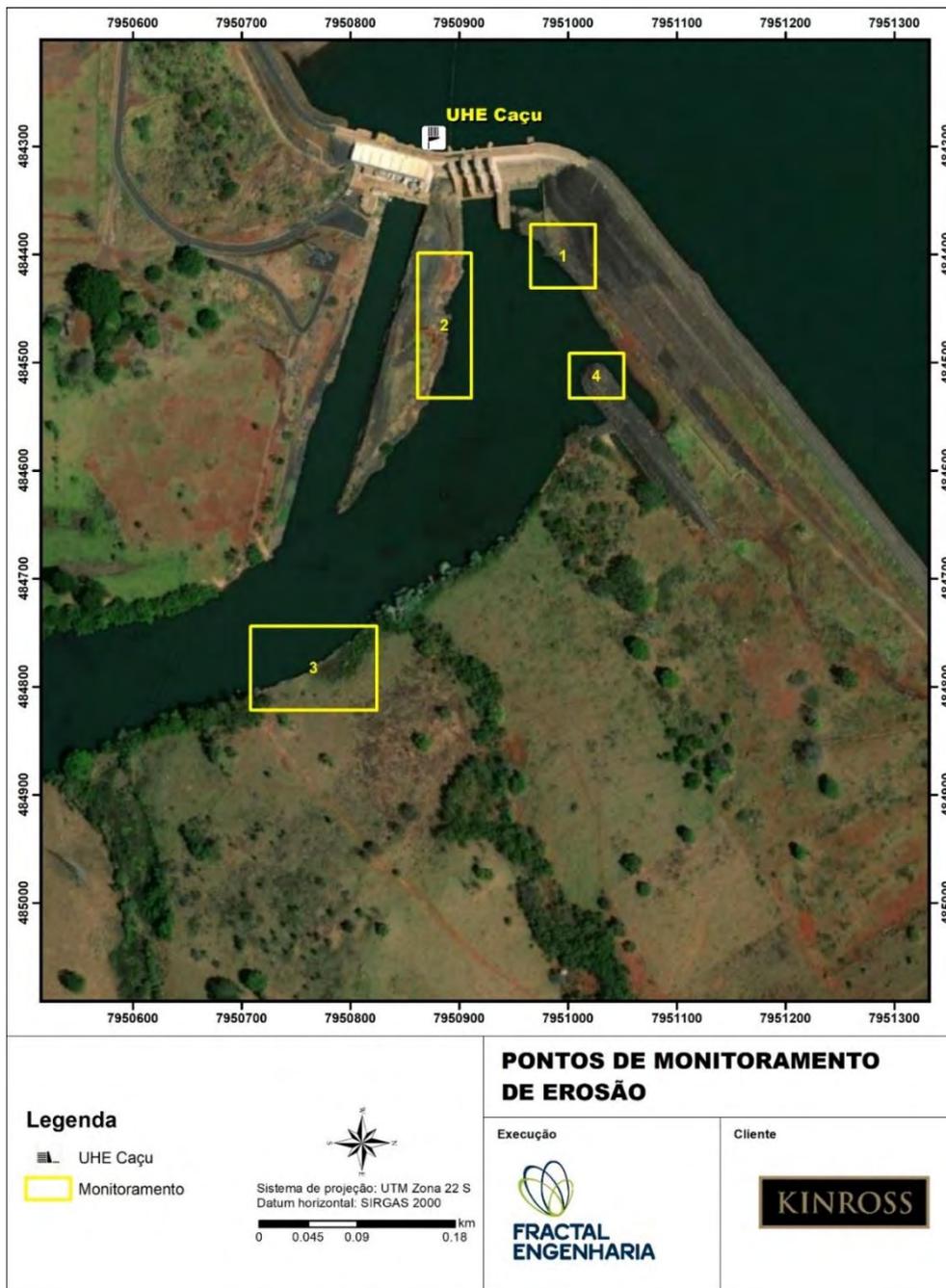


Figura 1. Pontos susceptíveis a processos erosivos.

1.2.1 Regiões do Abraço – BTME e Espigão

Nesses pontos foram mapeados padrões de escoamento e circulação da água com base nas variáveis de Tensão de Cisalhamento e do Número de Froude. Para o processo de arraste foram cálculos diâmetros mínimos do material de proteção a ser usado para fins de estabilização em caso de arraste. Porém, o jato do vertedouro causa a formação de ondas gravitacionais, as quais implicam num fenômeno oscilatório da superfície d'água e de colisão nas estruturas civis da barragem e nas margens do canal de restituição. E com o aumento da

vazão, aumenta-se a energia do escoamento tanto para efeito de arrasto quanto para efeito de onda.

A estrutura do espigão possui enrocamento basáltico de proteção em diâmetros adequados contra o efeito de arraste e onda gravitacional. A região do abraço e toda a extensão da BTME, para cota inferior a 456,80 [m-IBGE], devem ser consideradas para recomposição do enrocamento de proteção. Conforme indicado em 2013 em relatório de inspeção regular³ *“Observou-se que o enrocamento de proteção dos taludes de jusante da BTME abaixo da EL.456,80 nas proximidades das estruturas de concreto continuam inacabados, mostrando longos trechos com enrocamentos de dimensões muito abaixo do especificado em projeto. Recomenda-se que essas proteções com blocos de dimensões especificadas sejam executadas para proporcionar proteção adequada à BTME nas passagens de cheias do Rio Claro”*.

Em 2018, segundo relatório de inspeção regular⁴ *“...em inspeção de segurança anterior havia sido identificado trecho com falha no enrocamento jusante e processo de erosão hídrica em avanço, que foi novamente observada na presente inspeção...”* e conclui-se *“...mantém-se a recomendação de manutenção dessa região, mediante a recolocação das rochas do enrocamento, promovendo condições de adequabilidade do talude do empreendimento, seguindo granulometria recomendada em projeto...”*.

No Quadro 3 está ilustrada toda a região de interesse entre a cota 448,00 [m-IBGE] até a 456,80 [m-IBGE] para fins de recomposição do Ep.

Quadro 3. Região de interesse para recomposição do Ep.



³ Monitoramento Caçu. Engenharia. LAUDO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM DA UHE CAÇÚ ACOMPANHAMENTO DO COMPORTAMENTO DAS ESTRUTURAS SETEMBRO 2013. P00240/US-30-RL-0100.

⁴ UHE Caçu. Inspeção de Segurança Reguçar – ISR. 24ABR2018. Parecer técnico. 410-1027-RT-ISR-001. Revisão A.

1.2.2 Região do Septo

O Septo (Figura 2) é a estrutura que apresenta processo erosivo ativo dominado por arraste e com contribuição do efeito de onda gravitacional, com formação de ravinas aparentes. Nesses locais já é indicado o lançamento de agregado, respeitando o cálculo dos diâmetros mínimos e as recomendações de projeto do diâmetro de Enrocamento de Proteção, pois a evolução da perda do solo e do material de menor diâmetro pode determinar, durante a operação do vertedouro, a comunicação entre o canal de restituição e o canal de fuga, o que não é desejável.



Figura 2. Indicação de erosões no Septo.
Fonte: Fractal Engenharia e Sistemas.

1.2.3 Região da Margem Esquerda

A região da margem esquerda do rio Claro, na confluência entre o canal de fuga e o canal de restituição, deve ser mantido estabilizado de forma a evitar que um processo erosivo se torne um impacto ambiental decorrente da operação da usina. A região tem dominância de ocorrência de transporte de sedimentos por arraste.

1.2.4 Material de Proteção

Na Tabela 2 estão apresentados valores calculados como referência para determinação do diâmetro mínimo de material para enchimento e cobertura por arraste e o diâmetro d50 especificado para Enrocamento de Proteção aplicado como critério de obra.

Tabela 2. Diâmetro mínimo de agregado – Arraste.

TR 2 anos			Diâmetro D50 Ep – Projeto [mm]
Região	Tensão [Pa]	Diâmetro mínimo [mm]	
1 (Abraço)	0,2	0,19	700
2 (Septo)	0,6	0,57	
3 (Margem esquerda)	0,5	0,48	
4 (Espigão)	0,7	0,67	
TR 100 anos			Diâmetro D50 Ep – Projeto [mm]
Região	Tensão [Pa]	Diâmetro mínimo [mm]	
1 (Abraço)	1,2	1,15	700
2 (Septo)	3,0	2,87	
3 (Margem esquerda)	1,0	0,96	
4 (Espigão)	0,9	0,86	
TR 10.000 anos			Diâmetro D50 Ep – Projeto [mm]
Região	Tensão [Pa]	Diâmetro mínimo [mm]	
1 (Abraço)	1,0	0,96	700
2 (Septo)	10,0	9,58	
3 (Margem esquerda)	7,0	6,71	
4 (Espigão)	3,0	2,87	

O cálculo de diâmetro do material para cobrimento de proteção para arraste tende a resultar em valores menores do que os diâmetros demandados pelo efeito de transporte por onda gravitacional. Desta forma, deve-se aplicar o maior diâmetro necessário para que o cobrimento tenha desempenho adequado na dissipação de energia dos processos de movimento da água. Para o projeto da UHE Caçu, a projetista determinou uma curva granulométrica padrão para uso nos materiais de cobrimento com finalidade de proteção.

Na região do Abraço e ao longo da BTME, a linha de contato das estruturas de terra e enrocamento estão expostas aos movimentos ondulatórios superficiais da água. A variável do número de Froude (Figura 3) permitiu reconhecer que essas regiões têm propensão de formação de ondas de gravidade, as quais quebram na face do cobrimento de enrocamento e nos locais expostos. Por mais que a energia de arreste seja baixa, os processos erosivos são incrementados pela ação das ondas gravitacionais.



Figura 3. Campo de Froude.

Conforme projeto básico⁵, o diâmetro do enrocamento de proteção para diferentes graduações está indicado no Quadro 4, sendo o d50 igual a 70 cm.

Quadro 4. Especificação do enrocamento para UHE Caçu.

Diâmetro Médio Equivalente (cm)	Percentagem que Passa Acumulada	
	Enrocamento Compactado (Ec)	Enrocamento de Proteção (Ep)
80	100 – 100	100 – 100
70	85 – 100	50 – 100
50	73 – 100	33 – 100
40	65 – 100	21 – 50
30	55 – 100	11 – 40
20	42 – 91	0 – 25
15	34 – 85	0 – 15
7,5	15 – 59	0 – 2
3,8	5 – 43	0 – 0
2,5	0 – 36	-
(# 4) 0,48	0 - 10	-

2 RECOMENDAÇÕES

São recomendados um conjunto de atividades a serem feitas para o planejamento de compra de material, desenvolvimento de projetos, levantamentos de dados e refinamento de estudos.

Indica-se:

⁵ Projeto Básico UHE Caçu. Civil. Especificações técnicas de obras civis. 8958/00-30-ET-0001.

- Realizar batimetria para o ano de 2021 para que as feições de fundo dos canais de restituição e fuga e da bacia de dissipação sejam verificadas no estado atual (**Necessária**);
 - Disciplina: Hidrometria
 - Benefício: Verificar condição de erosão da bacia de dissipação e reconhecimentos de locais de deposição
- Realizar batimetria dos canais de fuga e restituição a cada 5 anos ou quando julgado necessário (**Permanente**);
 - Disciplina: Hidrometria
 - Benefício: Verificar condição de erosão da bacia de dissipação e reconhecimentos de locais de deposição
- Manter/aperfeiçoar procedimento de monitoramento e acompanhamento por imagem das regiões indicadas⁶ (**Desejável**);
 - Disciplina: Segurança de barragens
 - Benefício: Melhor controle no monitoramento de áreas susceptíveis
- Atualizar do presente estudo hidrodinâmico com a nova batimetria para o ciclo de atividades do ano de 2021 (**Desejável**);
 - Disciplina: Hidráulica
 - Benefício: Validação dos campos de velocidade
- Iniciar projeto para proteção do septo (**Desejável**);
 - Disciplina: Geotecnia
 - Benefício: Evitar inundação indesejada no canal de fuga
- Iniciar projeto⁷ para recomposição do Enrocamento de proteção (Ep) em área plana de aproximadamente 1 [ha] ao longo do pé da primeira berma do abraço e da barragem de terra da margem esquerda (BTME) (**Desejável**).
 - Disciplina: Geotecnia
 - Benefício: Finalização das obras de cobrimento e proteção do pé e primeira berma da BTME e Abraço

PRIORIDADE	CONDIÇÃO	PRAZO	RECOMENDAÇÃO
0	DE IMEDIATO	P < 90 dias	DE IMEDIATO
1	CURTO PRAZO	P < 180 dias	PRIORITÁRIA
2	MÉDIO PRAZO	P < 270 dias	NECESSÁRIA
3	LONGO PRAZO	P < 360 dias	DESEJÁVEL
4	CONSTANTE	Indeterminado	PERMANENTE

⁶ As regiões do abraço, do septo e do espigão já são contempladas nas Inspeções Regulares de Segurança da Barragem.

⁷ Cabe à fase de projeto consolidar a área de interesse para a recomposição do Ep, conforme diretrizes do presente estudo.

É recomendado que os levantamentos batimétricos sejam realizados com base no plano de linhas transversais e longitudinais indicado na ilustração da Figura 4. A respeito da área de estabilização da BTME, na Figura 5 está ilustrada uma proposição inicial para avaliação dos gestores e consultores em segurança de barragens da UHE Caçu.



Figura 4. Plano de linhas sugerido.

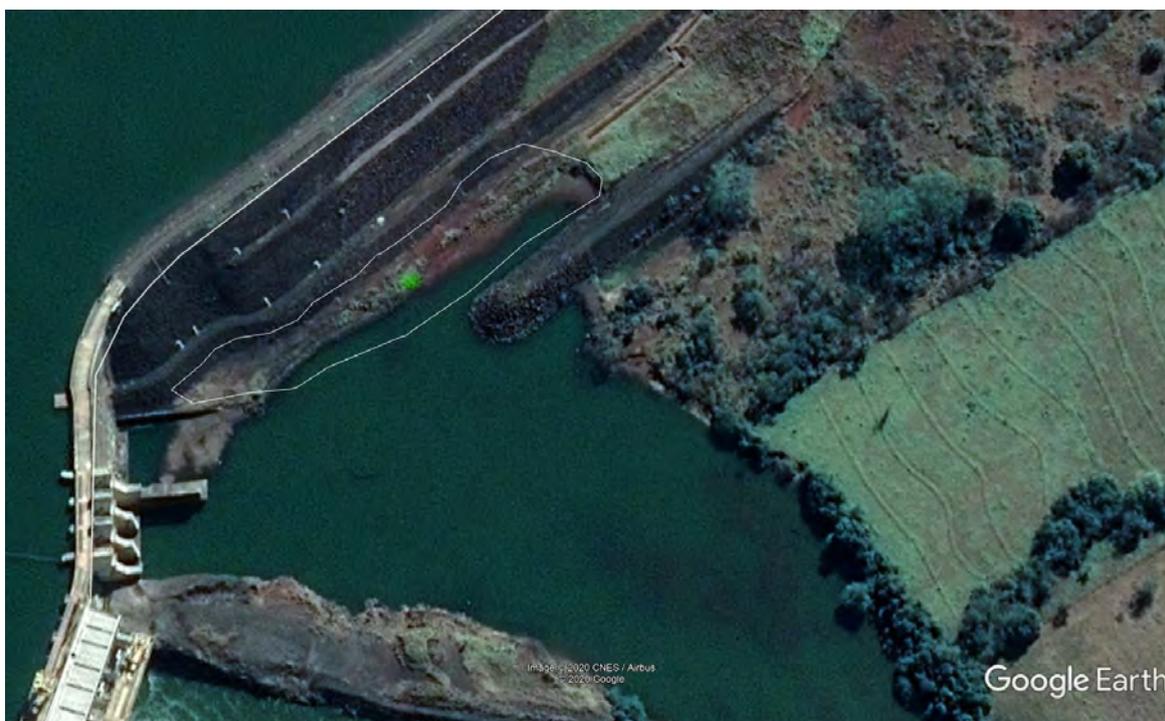


Figura 5. Proposição de área de lançamento de Enrocamento de Proteção.

3 INTRODUÇÃO

A seguir é descrito o desenvolvimento da investigação hidráulica, com base no uso de modelagem numérica, para verificação de padrões de escoamento e confirmação de cota de jusante da UHE Caçu. O objetivo desse estudo é obter um melhor detalhamento das cotas de jusante para diferentes vazões, assim como analisar o padrão de circulação e, conseqüentemente, a capacidade de erosão do escoamento na região do septo entre o canal de fuga e de canal de restituição, margens e proteção de taludes da barragem de terra.

O desenvolvimento do modelo numérico está fundamentado no uso de dados operativos da UHE Caçu e nas afluições máximas apresentadas no documento 571-UHECAC-RT-HDD⁸.

Ao longo do estudo, 3 cenários de defluência da UHE Caçu foram analisados:

1. Operação do vertedouro (Tempos de recorrência de 2, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos);
2. Operação da casa de força (vazões de 140 m³/s e 280 m³/s);
3. Operação conjunta da casa de força e vertedouro⁹.

3.1 ARRANJO GERAL

O aproveitamento pertencente à Kinross Brasil Mineração S.A iniciou sua operação em 2010. Localizada no rio Claro, estado de Goiás, esta usina conta com 2 (duas) unidades geradoras, totalizando 65 MW de potência instalada.

O Barramento da UHE Caçu é composto pelas seguintes estruturas de interesse:

- Barragem de Terra da Margem Direita (BTMD);
- Barragem de transição;
- Barragem de CCR;
- Tomada d'água (TA);
- Vertedouro de Superfície – Controlado (VS);
- Barragem de CCV;
- Barragem de Transição;
- Barragem de Terra da Margem Esquerda (BTME).

A Figura 6 mostra as estruturas civis associadas da UHE Caçu.

⁸ Revisão hidráulica e hidrológica da UHE Caçu (Fractal Engenharia). Desenvolvida e revisada em 25/09/2020.

⁹ Divisão da afluição entre engolimento de turbinas e vertimento.



Figura 6. Vista geral do empreendimento.

Fonte: Kinross.

4 MODELO HIDRÁULICO

O HEC-RAS (HEC, 2016) é um modelo unidimensional e bidimensional, de fundo fixo, capaz de efetuar os cálculos dos perfis de superfície d'água em escoamento permanente e não permanente, em canais com superfície livre. Esses perfis podem ser calculados em regimes subcríticos, supercrítico e misto, podendo ocorrer mudanças de um regime para outro. O procedimento de cálculo baseia-se na solução da equação da conservação do momento unidimensional. O modelo também utiliza as equações de momento em situações onde o perfil da superfície d'água varia rapidamente. Essas situações incluem, dentre outras, os ressaltos hidráulicos, as pontes e as confluências de rios. Permite, ainda, a avaliação do efeito de estruturas hidráulicas (pontes, galerias, barragens, etc).

A versão bidimensional do HEC-RAS é baseada nas equações de conservação da massa e conservação do momentum de Navier-Stokes pelas seguintes relações:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(h.u)}{\partial x} + \frac{\partial(h.v)}{\partial y} + q = 0 \tag{01}$$

$$\therefore H(x, y, t) = z(x, y) + h(x, y, t)$$

Componente x da equação da conservação do momento:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_f \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v \tag{02}$$

Componente y da equação da conservação do momento:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_f \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot v + f \cdot u \quad (03)$$

Onde q é o fluxo externo, u e v são as componentes de velocidade, g é a aceleração da gravidade, H é a energia específica, h é a profundidade d'água, z é a superfície altimétrica, c_f é o coeficiente de atrito do leito e f é o parâmetro de Coriolis.

O presente estudo é baseado no uso do módulo bidimensional do HEC-RAS, de forma que seja possível representar adequadamente as defluências nos canais de restituição e fuga. Com esse tipo de modelo é possível o cálculo das linhas de fluxo do escoamento e também a identificação de locais de formação de vórtices e com maior propensão a processos erosivos.

5 DADOS DE ENTRADA

O desenvolvimento do presente estudo foi baseado em dados hidrológicos, topográficos e estruturais da UHE Caçu. O Quadro 5 resume os dados empregados no desenvolvimento do modelo numérico da barragem em questão.

Quadro 5. Resumo de dados empregados no estudo hidrodinâmico da UHE Caçu.

Tipo de base dados	Variável
Hidrológico	Revisão hidráulica e hidrológica – Documento 571-UHECAC-RT-HDD.
Dispositivos de descarga	Dimensões geométricas do vertedouro tipo soleira controlada e casa de força.
Arranjo da barragem	Dimensões, cotas e posicionamento das estruturas associadas ao barramento e dispositivos de descarga.
Topobatimetria	Modelo digital de terreno PEC-PCD “Classe A” 1:2.000. DATUM SIRGAS 2000 22S. IBGE. Plantas de localização do Projeto Básico.
Documentos	Projeto Básico e Relatórios de Inspeção de Segurança Regular – ISR

Na revisão hidrológica desenvolvida pela Fractal Engenharia, determinou-se as vazões máximas diárias instantâneas para diferentes períodos de retorno, assim como as suas probabilidades de ocorrência. Para as simulações do estudo hidrodinâmico, utilizou-se as vazões máximas estimadas para cada período de retorno e com 1% de probabilidade de ocorrência para a faixa de erro estatístico amostrado. Na Tabela 3 estão resumidas as vazões de referência consideradas.

Tabela 3. Vazões do rio Claro no eixo da UHE Caçu.

Período de recorrência (TR– anos)	Vazão instantânea [m³/s]
2	761
100	1.704

500	2.122
1.000	2.298
10.000	2.898

Considerou-se no modelo, também, a defluência total (280 m³/s) e parcial (140 m³/s) da Casa de Força.

5.1 MODELO CONCEITUAL

O modelo HEC-RAS 5.0.6 contemplou a região de jusante do empreendimento da UHE Caçu, com uma extensão de, aproximadamente, 1,0 km a partir do eixo da barragem. O modelo conceitual desenvolvido foi concebido com uso de uma estrutura bidimensional com células com resolução média de 2,00 m. No total, a grade não estruturada conta com aproximadamente 68.120 células¹⁰.

O coeficiente de Manning foi ajustado igual a 0,04, condizente às características geomorfológicas logo a jusante do eixo da UHE Caçu com escoamento em rocha irregular e margens com presença de vegetação (CHOW, 1959). O domínio de simulação do modelo conceitual está ilustrado na Figura 7, com detalhe para a malha computacional no entorno do septo entre a bacia de dissipação e o canal de restituição.

¹⁰ Elementos numéricos infinitesimais usados para calcular as forças atuantes do escoamento da água.



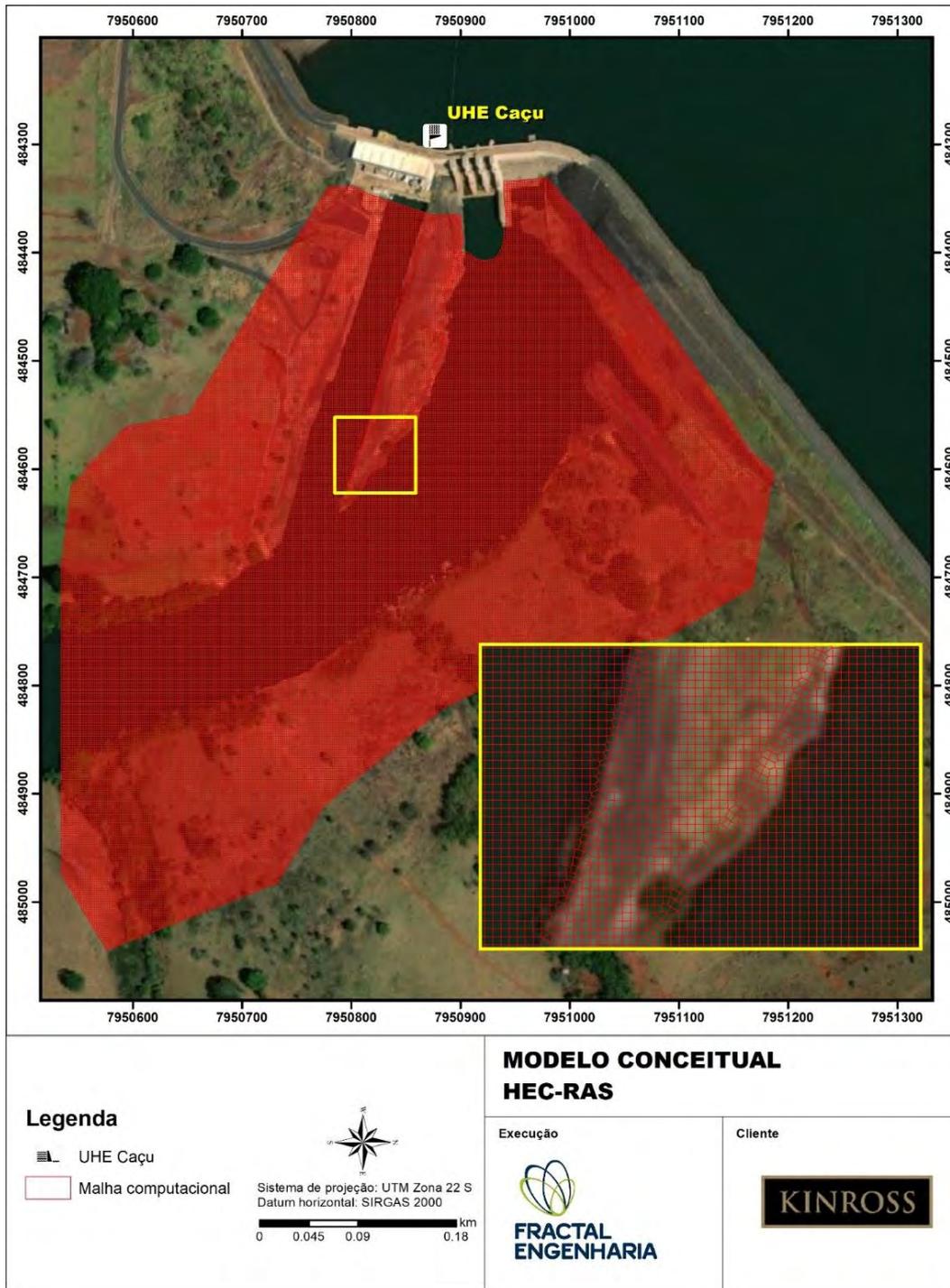


Figura 7. Modelo HEC-RAS conceitual.

5.2 CENÁRIOS DE RESTRIÇÃO DE JUSANTE

Os cenários de simulação estão baseados nas vazões afluentes revisadas para diferentes períodos de retorno e para as vazões turbinadas. Os seguintes cenários compõem a análise hidrodinâmica:

- 1 Operação do vertedouro (Tempos de recorrência de 2, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos);

- 2 Operação da casa de força (vazões de 140 m³/s e 280 m³/s);
- 3 Operação conjunta da casa de força e vertedouro.

Cenários analisados nas simulações numéricas:

- Cenário 1: vazão afluyente é totalmente vertida pelo vertedouro.
- Cenário 2: vazão máxima turbinada com 1 e 2 UGs em operação.
- Cenário 3: operação conjunta do vertedouro e da casa de força. O vertimento é a diferença entre as vazões afluentes e a máxima vazão turbinada.

Na Figura 8 estão ilustradas as condições de contorno do domínio de simulação. As simulações têm duração de 56 horas para as vazões de período de retorno (Cenários 1 e 3) e 17 horas para as vazões turbinadas (Cenário 2).

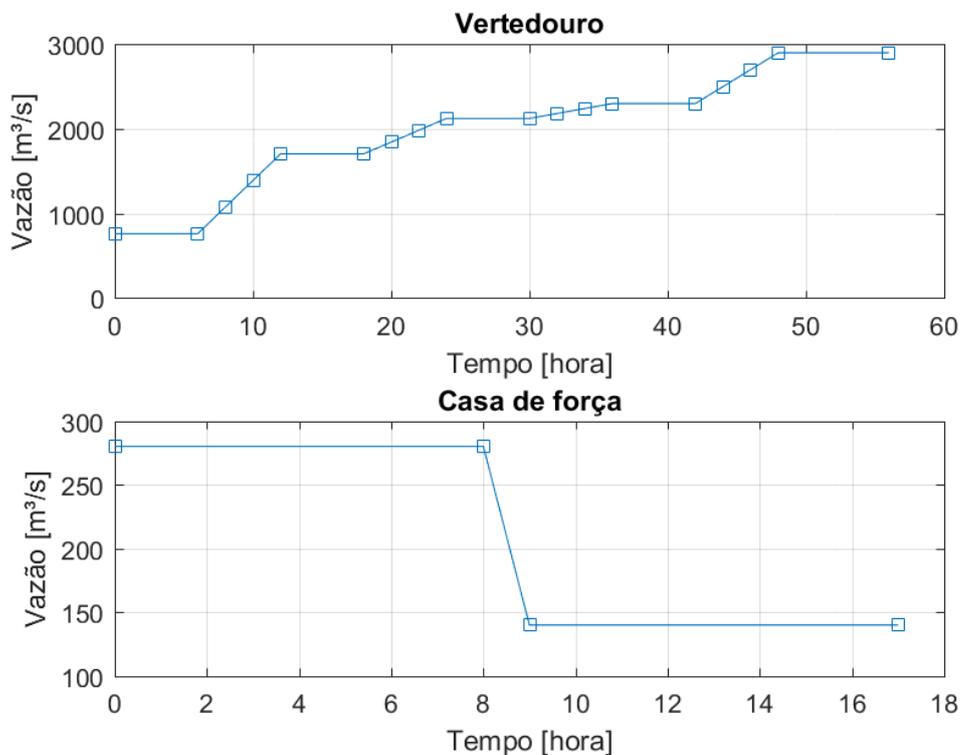


Figura 8. Vazões defluentes – Condição de contorno.

6 RESULTADOS

Primeiramente, analisou-se para todos os cenários os níveis de água de jusante ao longo do perfil (linha vermelha) exposto na Figura 9. Esse perfil possibilita avaliar simultaneamente as cotas no canal de fuga no canal de restituição. Para os cenários de operação exclusiva do vertedouro (Cenário 1), notou-se que os níveis de água no canal de restituição apresentam variações pequenas e com o trecho mais próximo do vertedouro apresentando níveis ligeiramente mais elevados, comportamento esperado uma vez que o

impacto do vertimento no canal de restituição é maior. Para o trecho no canal de fuga, os níveis de água permaneceram constantes.



Figura 9. Perfil de controle do nível de água de jusante.

Para o cenário de vazão turbinada (Cenário 2), o canal de fuga apresentou pequenas oscilações nos níveis de água enquanto o canal de restituição permaneceu constante.

Com a operação conjunta do vertedouro com a casa de força (Cenário 3) os níveis de água no canal de restituição tendem a ser menores em relação ao Cenário 1.

A Tabela 4 mostra uma síntese dos resultados referentes aos níveis de água a jusante.

Tabela 4. Níveis de água de jusante para os cenários analisados.

Cenário	Cota [m]	Canal de restituição	Canal de fuga	Variação
1	TR 2	450,90±0,03	450,78±0,00	0,12±0,03
1	TR 100	452,46±0,10	452,22±0,00	0,24±0,10
1	TR 500	453,04±0,14	452,76±0,00	0,28±0,14
1	TR 1.000	453,26±0,16	452,97±0,00	0,30±0,16
1	TR 10.000	453,97±0,22	453,64±0,00	0,33±0,22
2	Vazão turbinada parcial	449,40±0,00	449,45±0,00	0,05±0,00

Cenário	Cota [m]	Canal de restituição	Canal de fuga	Variação
2	Vazão turbinada máxima	449,75±0,00	449,93±0,01	0,18±0,01
3	TR 2 + Vazão turbinada máxima	450,79±0,01	450,81±0,01	0,02±0,00
3	TR 100 + Vazão turbinada máxima	452,46±0,07	452,33±0,00	0,12±0,06
3	TR 500 + Vazão turbinada máxima	453,01±0,10	452,84±0,00	0,17±0,10
3	TR 1.000 + Vazão turbinada máxima	453,26±0,12	453,07±0,00	0,19±0,12
3	TR 10.000 + Vazão turbinada máxima	453,58±0,14	453,37±0,00	0,21±0,14

Complementarmente, comparou-se as cotas obtidas nesse estudo no modelo 2-D com as cotas de projeto e as cotas do modelo 1-D, desenvolvido pela Fractal Engenharia para a revisão hidráulica e hidrológica. A Tabela 5 mostra esses respectivos níveis de jusante. Constatou-se boa convergência entre os níveis de projeto e dos modelos 1-D e 2-D, com diferenças pouco significativas.

Tabela 5. Níveis de água de jusante de referência.

Condição	Cota [m]	Observação
NA máximo maximorum	454,30	projeto
NA máximo	449,00	projeto
NA mínimo	448,40	projeto
TR 10.000 anos (1%)	453,79±0,50	modelo 1-D

Quanto aos padrões de circulação do escoamento a jusante, notou-se que para vazões vertidas com um período de retorno de 2 anos já se forma um pequeno vórtice no septo que separa o canal de fuga do canal de restituição, como pode ser observado na Figura 10.

Para vazões superiores a 100 anos de recorrência observou-se vórtices maiores e mais intensos no septo. Ademais, constatou-se a presença de vórtices de baixa intensidade no paramento de jusante no abraço (Barragem de Terra da Margem Esquerda). Na Figura 11 estão apresentados os resultados da simulação para a vazão de 100 anos de recorrência. E a Figura 12 mostra os resultados para a vazão decamilenar, cenário mais crítico para o septo e o abraço.

Para os casos de vazões turbinadas não houve nenhum indício de processo erosivo no septo entre o canal de fuga e restituição, assim como a jusante da barragem de terra. A operação das turbinas no período de baixas afluências afeta a margem esquerda do rio Claro na confluência do canal de fuga com o canal de restituição.

Com base nos resultados do modelo, são indicadas as principais regiões susceptíveis a processos de erosão por arraste e por ondas gravitacionais, em virtude dos vórtices e variações locais do número de Froude, conforme apresentado na Figura 13. As regiões 1 e 2 correspondem ao abraço e o septo. Os pontos 3 e 4 são regiões adicionais que foram

identificadas como potencial foco de erosão. O ponto 3 é uma região afetada, particularmente, pela vazão turbinada, uma vez que se localiza imediatamente a jusante do canal de fuga. Segundo o estudo em modelo reduzido, o ponto 4 corresponde ao espigão construído para evitar a formação de vórtices e ondas gravitacionais na margem esquerda da barragem de terra, em função da operação do vertedouro.

Os resultados da modelagem numérica aqui apresentados são coerentes aos resultados obtidos em modelo físico reduzido¹¹ na fase de projeto do empreendimento.

¹¹ Relatório final dos ensaios em Modelo Reduzido Tridimensional da UHE Caçu. Documento RF-990-2009-R0.



6.1 PERÍODO DE RETORNO DE 2 ANOS

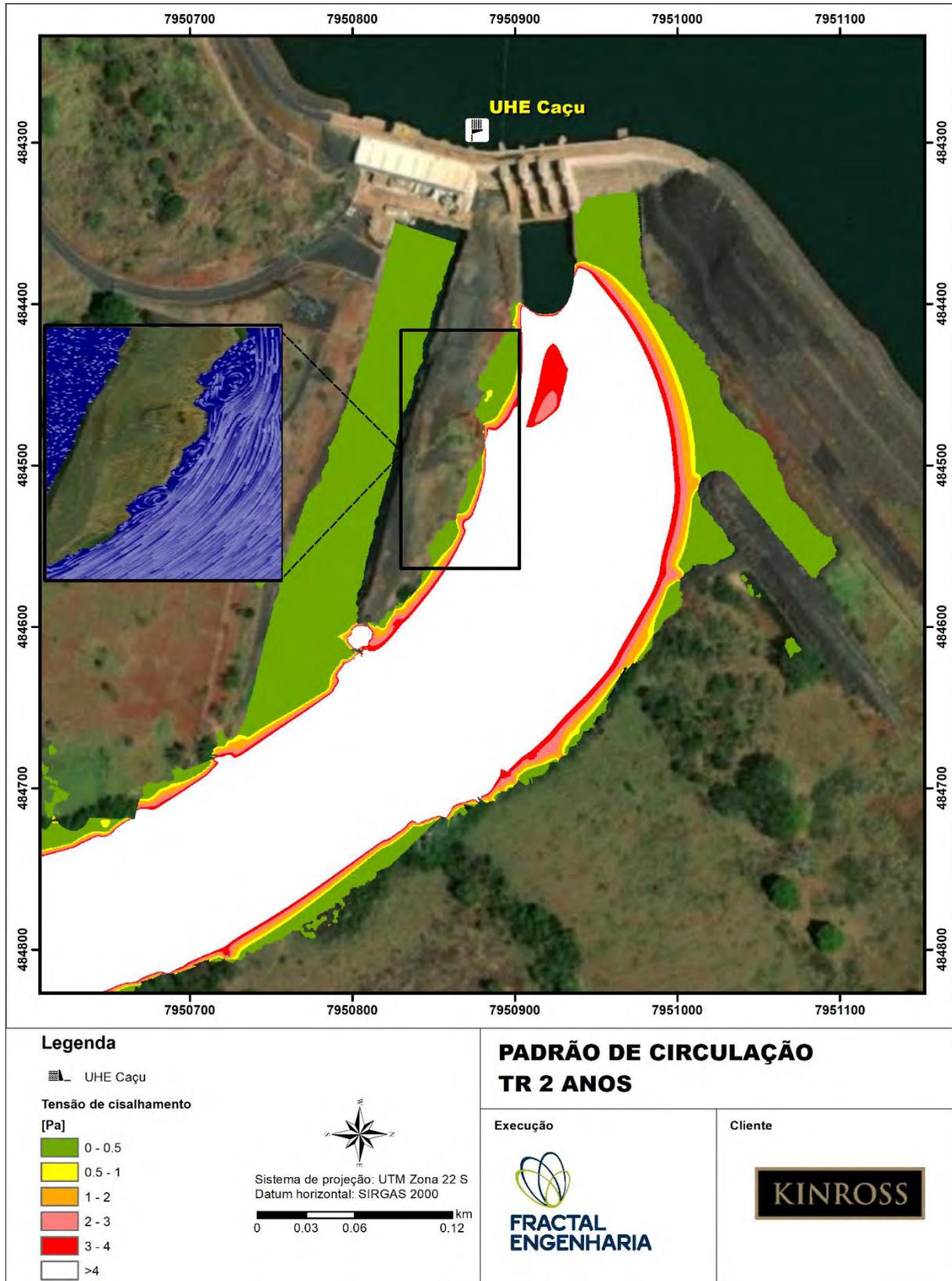


Figura 10. Padrão de circulação no Septo – TR 2 anos.

6.2 PERÍODO DE RETORNO DE 100 ANOS

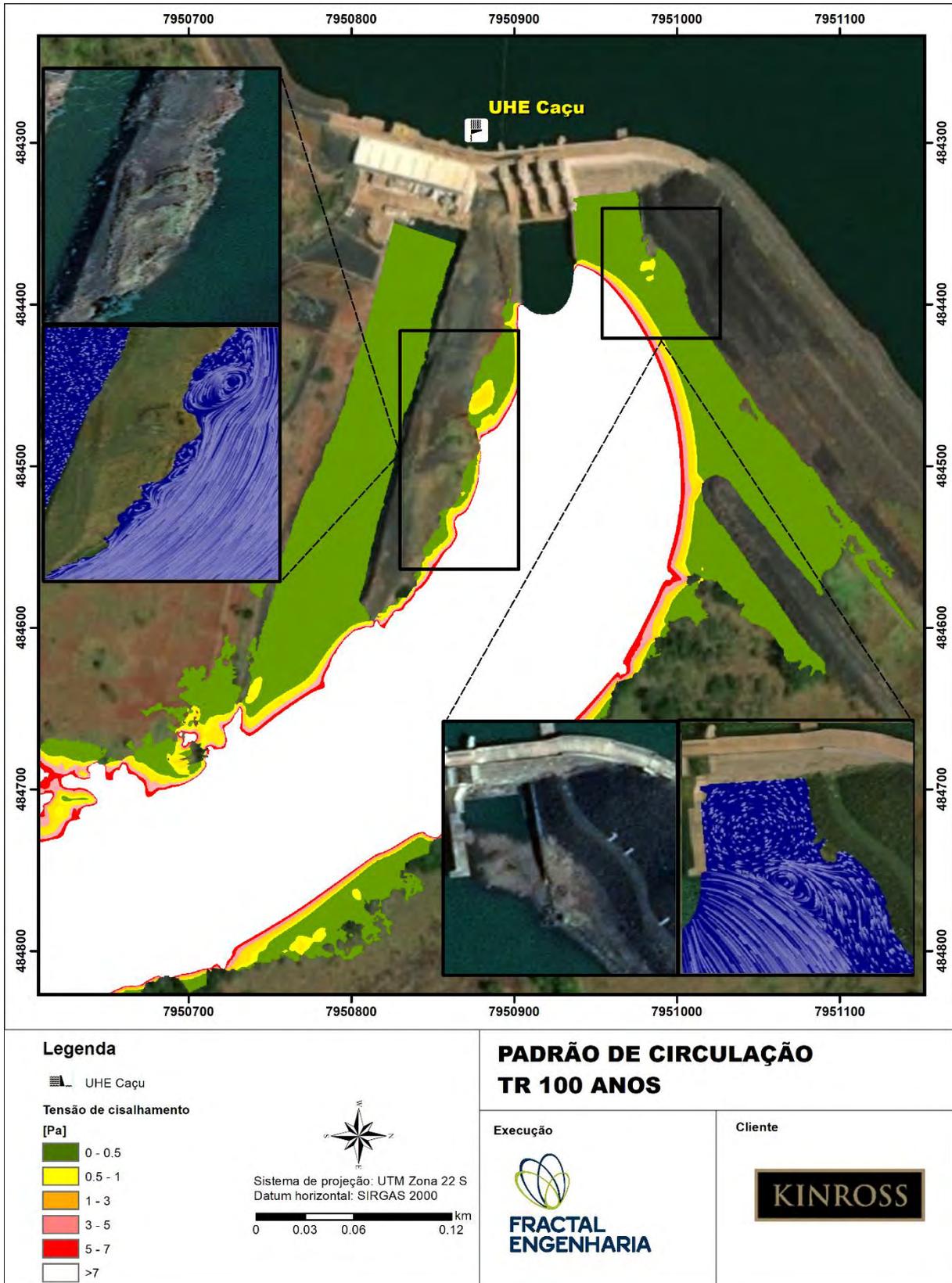


Figura 11. Padrão de circulação no Septo e no Abraço – TR 100 anos.

6.3 PERÍODO DE RETORNO DE 10.000 ANOS

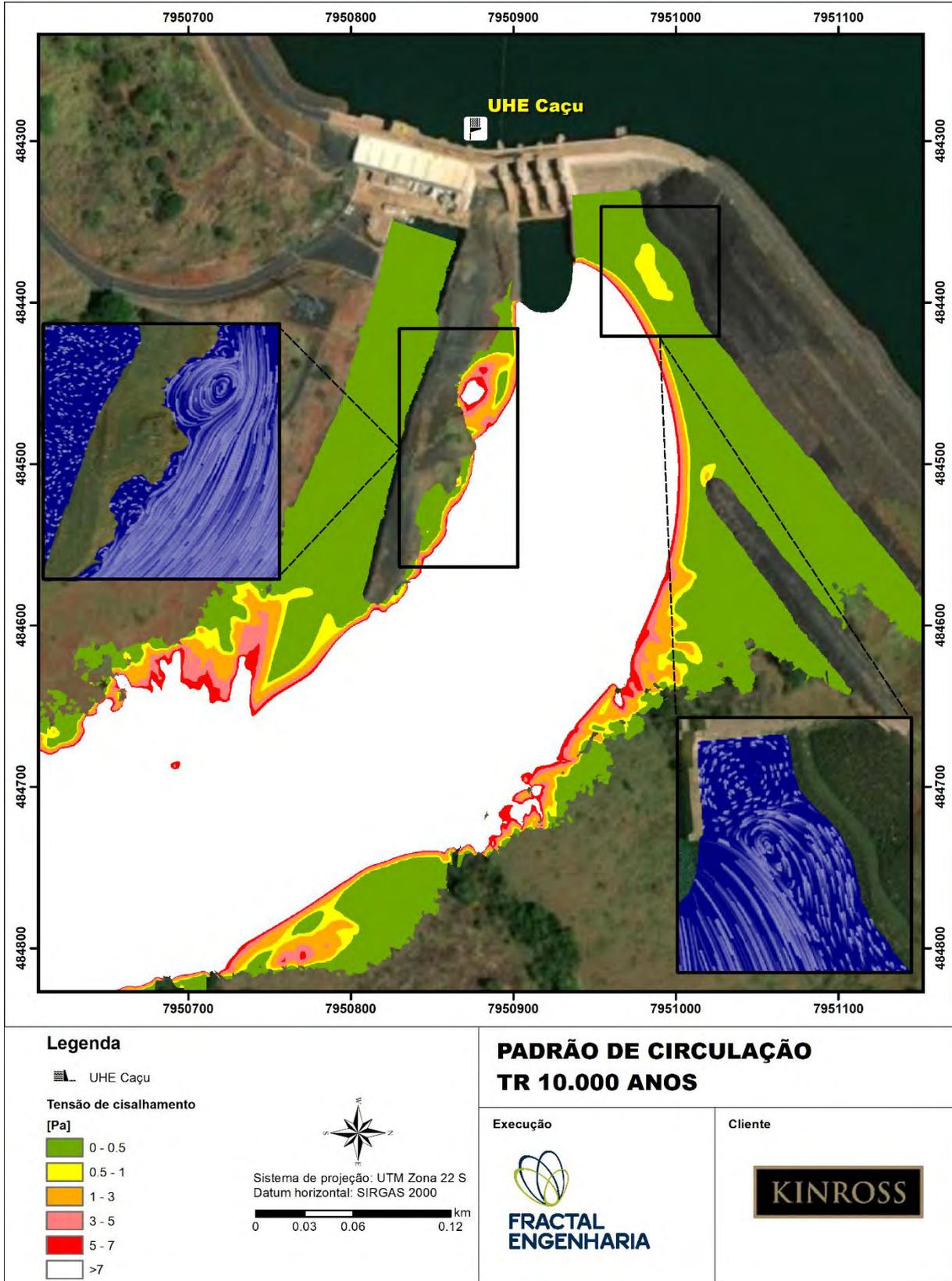


Figura 12. Padrão de circulação no Septo e no Abraço – TR 10.000 anos.

6.4 PONTOS DE MONITORAMENTO DE EROÇÃO

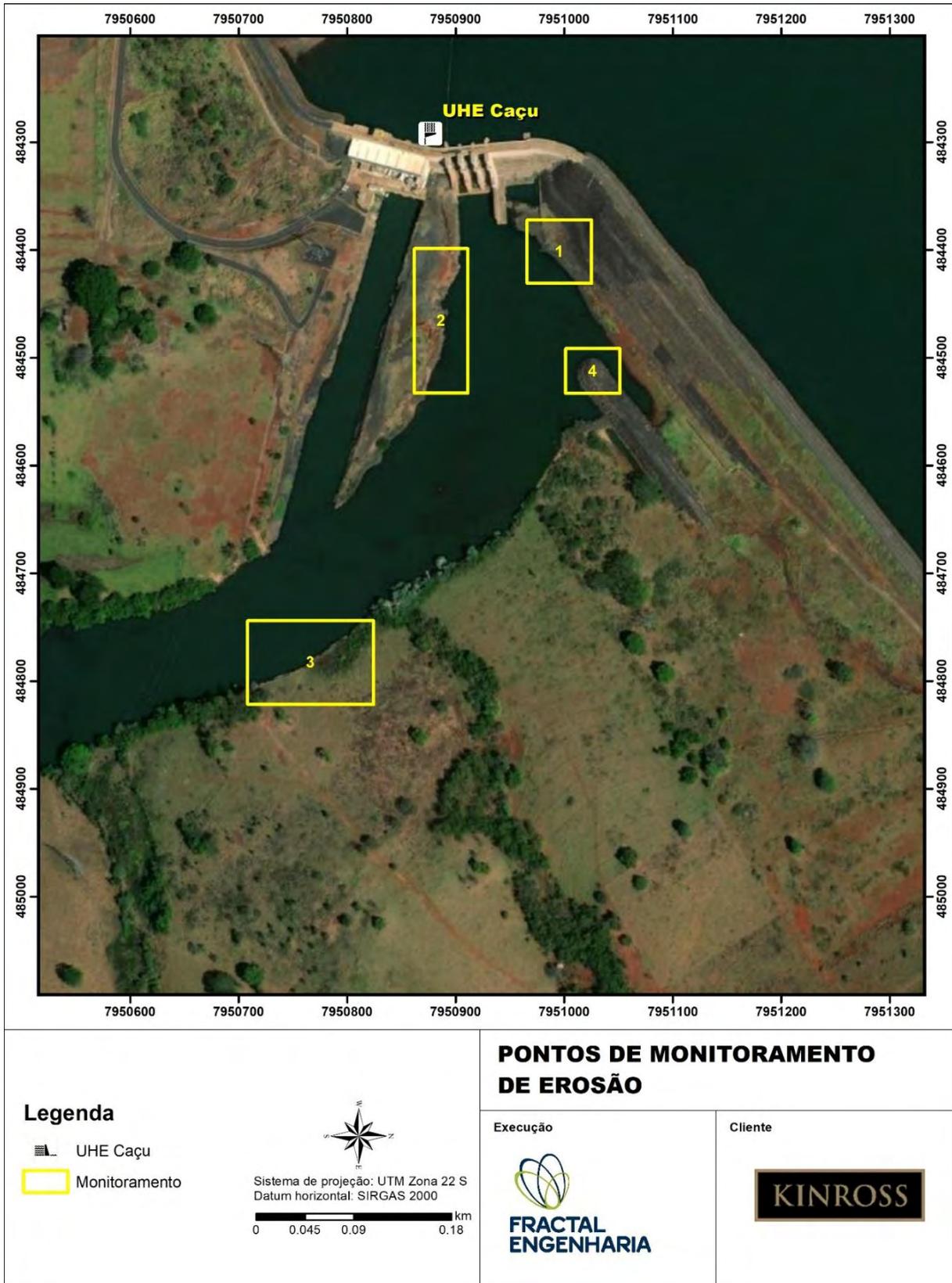


Figura 13. Regiões de monitoramento de erosão.

6.5 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À EROSÃO

É comum a ocorrência de pontos de erosão nos trechos logo a jusante de aproveitamentos hidrelétricos. Isto devido aos dispositivos de descarga conduzirem volume d'água com alta energia específica, com entrada de ar e indução de ondulações na superfície d'água (onda gravitacional).

Do modelo computacional, extraiu-se as tensões de cisalhamento nas regiões de interesse, apresentadas na Figura 10 a Figura 12. Para avaliar a força erosiva do escoamento, utilizou-se o conceito de transporte de sedimentos de Shields, conforme descrito em Graf (1984).

Para escoamentos turbulentos, a tensão de Shields apresenta um valor adimensional de 0,056. Assim, sabendo-se do modelo computacional a tensão provocada pelo escoamento e o valor da tensão de Shields que define o transporte de sedimentos, pode-se determinar o diâmetro mínimo da partícula que é capaz de resistir às forças de arraste do escoamento. A relação que descreve esse comportamento está descrita abaixo:

$$D = \frac{\tau}{g \cdot (\rho_{Sedimento} - \rho_{Água}) \cdot 0,056} \quad (04)$$

Em que:

D é o diâmetro da partícula [m];

τ é a tensão de cisalhamento [Pa];

g é a gravidade [m/s²];

$\rho_{Sedimento}$ é a densidade do sedimento [kg/m³];

$\rho_{Água}$ é a densidade da água [kg/m³].

Para o caso da UHE Caçu, considerou-se o sedimento como sendo basalto com uma densidade de 2.900 kg/m³. Determinou-se, na Tabela 6, os diâmetros mínimos do sedimento de forma a resistir ao escoamento e vórtices detectados no modelo computacional. A numeração dos pontos de interesse obedece a definição da Figura 13.

Tabela 6. Diâmetro mínimo para resistência ao escoamento.

TR 2 anos		
Região	Tensão [Pa]	Diâmetro mínimo [mm]
1 (Abraço)	0,2	0,19
2 (Septo)	0,6	0,57
3 (Margem esquerda)	0,5	0,48
4 (Espigão)	0,7	0,67

TR 100 anos

Região	Tensão [Pa]	Diâmetro mínimo [mm]
1 (Abraço)	1,2	1,15
2 (Septo)	3,0	2,87
3 (Margem esquerda)	1,0	0,96
4 (Espigão)	0,9	0,86

TR 10.000 anos

Região	Tensão [Pa]	Diâmetro mínimo [mm]
1 (Abraço)	1,0	0,96
2 (Septo)	10,0	9,58
3 (Margem esquerda)	7,0	6,71
4 (Espigão)	3,0	2,87

Da Tabela 6 observa-se que para resistir às forças de arraste dos vórtices detectados, o diâmetro mínimo necessário é de 10 mm, considerando o cenário de uma vazão decamilenar. Esse ponto corresponde ao septo que separa o canal de fuga e de restituição, ponto mais crítico a jusante na UHE Caçu. Nota-se, também, que o tamanho necessário do sedimento para resistir aos processos erosivos é pequeno, indicando que os vórtices detectados apresentam maior capacidade de erodir o solo ou material já solto, apresentando baixo risco para rochas sãs e enrocamento de proteção

Outro processo erosivo faz parte da análise, ocasionado pelo movimento de ondulação ou formação de ondas gravitacionais. Esse fenômeno ocorre com a quebras de ondas sobre as estruturas civis e margens do canal de restituição, formadas pelo jato do vertedouro. O modelo numérico, através da variação local do número de Froude, confirma a propensão de formação de ondas gravitacionais quebrando na face da primeira berma do abraço e da barragem da margem esquerda. Para o projeto básico o diâmetro do enrocamento de proteção dessas estruturas, e aplicável ao espigão, está definido igual a 70 cm (D50).

O processo de erosão por arraste ocorre por escoamento, principalmente agindo o leito ou fundo, e o processo de erosão por onda gravitacional ocorre por quebra de onda na porção superficial da massa d'água.

O processo de erosão por onda gravitacional será mais frequente em todo o canal de restituição. Uma forma de diferenciação da dominância dos processos erosivos é pela feição da região danificada, sendo arreondada ou elíptica em decorrência da ação de ondas gravitacionais e irregulares com formação de sulco em decorrência da ação de arraste.

REFERÊNCIAS

CHOW, V.T. 1959. Open-channel hydraulics: New York, McGraw-Hill, 680 p.

GRAF, W.H. 1984. Hydraulics of Sediment Transport: Michigan, Water Resources Publication, 513 p.

HEC. River Analysis System, HEC-RAS – Hydraulic Reference Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 539p, USA, 2016.





Código: 600-CAC-RT-ELT-021-1
Avaliação Eletromecânica dos Dispositivos do
Título: Vertedouro e do Sistema de Drenagem da
Casa de Força
Páginas: 2 de 55 Emissão: 18/01/22



Trabalho realizado por



Equipe

Fernando Pedrassani Costa Neves
Wallace Ferreira Lobo Júnior



Supervisão

Fernando Pedrassani Costa Neves

NYTECH ENGENHARIA DE SISTEMAS
Rodovia SC 401, km 1, Lote 02 – Sobreloja, Parque
Tecnológico Alfa, Bairro João Paulo
Florianópolis/SC – CEP 88030-000


Código: 202006-01-0002, revisão 0

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	5
2.	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA USINA	6
3.	AVALIAÇÕES	9
3.1.	SISTEMA DE CORRENTE ALTERNADA	9
3.1.1.	Descritivo	9
3.1.2.	Inspeção e Manutenção do Sistema de Corrente Alternada	10
3.2.	SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA	10
3.2.1.	Descritivo	10
3.2.2.	Inspeção e Manutenção do Sistema de Corrente Contínua	12
3.3.	COMPORTAS DO VERTEDOURO	12
3.3.1.	Descritivo	12
3.3.2.	Sistema de Comando e Controle	13
3.3.3.	Sistema de Corrente Contínua.....	15
3.3.4.	Sistema de Corrente Alternada.....	16
3.3.5.	Operação das Comportas do Vertedouro	18
3.3.6.	Inspeção e Manutenção das Comportas do Vertedouro.....	19
3.4.	SISTEMA DE DRENAGEM DA CASA DE FORÇA	19
3.4.1.	Descritivo	19
3.4.2.	Sistema de Comando e Controle	20
3.4.3.	Sistema de Corrente Contínua.....	21
3.4.4.	Sistema de Corrente Alternada.....	22
3.4.5.	Operação do Sistema de Drenagem.....	23
3.4.6.	Inspeção e Manutenção do Sistema de Drenagem	24
3.5.	SOBRESSALENTES	24
3.6.	DOCUMENTAÇÃO	25
4.	RECOMENDAÇÕES.....	26
4.1.	SISTEMA DE CORRENTE ALTERNADA	26
4.2.	SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA	27

4.3.	COMPORTAS DO VERTEDOURO	27
4.4.	SISTEMA DE DRENAGEM DA CASA DE FORÇA	29
4.5.	SOBRESSALENTES	31
4.6.	DOCUMENTAÇÃO	32
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
6.	RELATÓRIO FOTOGRÁFICO	34
7.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	52
	Anexo A – Memória de Cálculo Estimativa de Tempo Limite para Manutenção nas Comportas.....	55

1. INTRODUÇÃO

A FRACTAL Engenharia, responsável pela avaliação periódica da segurança de barragem da UHE Caçu, de propriedade da KINROSS Mineração, demandou uma avaliação dos dispositivos do vertedouro e do sistema de drenagem da casa de força, abordando os dispositivos elétricos, mecânicos e hidromecânicos. A NYTECH engenharia foi escolhida para fazer a avaliação operacional e a avaliação quanto a manutenção dos sistemas elétricos de alimentação e dos sistemas de comando e controle, relacionados ao vertedouro e sistema de drenagem da casa de força.

A legislação e regulamentação vigentes estabelecem que as usinas hidrelétricas disponham de plano de segurança de barragem, que, além da cobertura ampla da disciplina civil, devem considerar a disciplina eletromecânica, englobando sistemas que são diretamente associados a segurança das estruturas, como sistemas extravasores e de drenagem. Esses sistemas devem ser operados e mantidos para atenderem os requisitos de confiabilidade e disponibilidade.

Os sistemas extravasores e de drenagem são compostos por componentes hidromecânicos e dispositivos eletromecânicos como comportas, sistema hidráulico, bombas e sistema de supervisão e controle. Tipicamente esses sistemas são diretamente dependentes de suprimento de energia elétrica, que deve ter confiabilidade e disponibilidade da mesma ordem, de forma que todo o sistema seja confiável.

O processo de operação e manutenção para esses sistemas, cujas atividades garantem a confiabilidade e disponibilidade operacional, deve ser definido pelo empreendedor, observadas as particularidades, complexidade e características técnicas do empreendimento.

Em certos casos, principalmente em dispositivos que somente são operados em condições específicas, ou seja, sem operação de rotina, demanda-se um diagnóstico da condição operativa e uma avaliação do processo de operação e manutenção, que podem resultar em um conjunto de ações que devem ser executadas a fim de garantir a confiabilidade e disponibilidade requeridas.

A execução da avaliação operativa dos sistemas pode ser realizada considerando as seguintes ações:

- Observação do desempenho em condições reais ou simuladas de operação;
- Avaliação dos processos de operação e seus procedimentos e registros;
- Avaliação dos processos de manutenção e seus procedimentos e registros;
- Avaliação da configuração ou arranjo dos sistemas.

Esse documento apresenta a análise e a emissão de recomendações baseado em:

- Documentos técnicos da usina, abordando-se principalmente os seguintes tipos de documentos:
 - Instruções de inspeções e manobras de operação;
 - Instruções da manutenção planejada e seus registros;
 - Documentação técnica do projeto;
- Recomendações normativas;
- Boas práticas de operação e manutenção;
- Levantamento de campo realizado entre 22 e 23/06/2021

As principais pessoas da usina envolvidas no levantamento de campo foram:

- Luciano Zanoni, Engenheiro de O&M Sênior, Kinross;
- Tiago Marçola de Oliveira, Coordenador de O&M, RIP/Kaefer.

Os comentários e recomendações sobre o processo de operação e manutenção envolvem apenas os aspectos relacionados com os sistemas do escopo desse relatório. As avaliações e recomendações que serão apresentadas consideram o que foi observado na documentação recebida e no que foi possível observar em campo.

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA USINA

Potência instalada: 65 MW

Energia assegurada: 42,9 MW médios

Número de unidades geradoras: 2

Níveis reservatório

- Máximo maximorum: 477,00 msnm
- Máximo normal: 477,00 msnm
- Mínimo normal: 475,00 msnm

Barragem

- Tipo: Terra/CCR/Enrocamento
- Comprimento: 1.150,00 m
- Cota da crista: 479,00 msnm
- Altura: 34,00 m

Vertedouro

- Tipo: Superfície com comportas de segmento
- Capacidade: 2.658 m³/s
- Cota da soleira: 464,55 msnm

- Cota do topo da comporta: 477,50 msnm
- Cota da base da comporta em abertura total: 479,03 msnm
- Quantidade de comportas: 3
- Largura da comporta: 9,20 m
- Altura da comporta: 12,95 m
- Acionamento das comportas: Hidráulico

Classificação da Barragem

- Categoria de risco: Baixo
- Dano potencial: Alto
- Classificação: B

Serviço Auxiliar

- Corrente contínua: 125 VCC
- Corrente alternada trifásica: 480 VCA, 60 Hz
- Corrente alternada monofásica: 220 VCA, 60 Hz

Entrada em operação comercial: 2010

Localização: Caçu/GO

Rio: Claro

A estrutura de operação e manutenção é mostrada na FIGURA 1. A RIP é a empresa contratada pela Kinross para a execução da Operação e Manutenção da usina. Além da equipe fixa da usina dispõe de apoio técnico da sede da empresa.

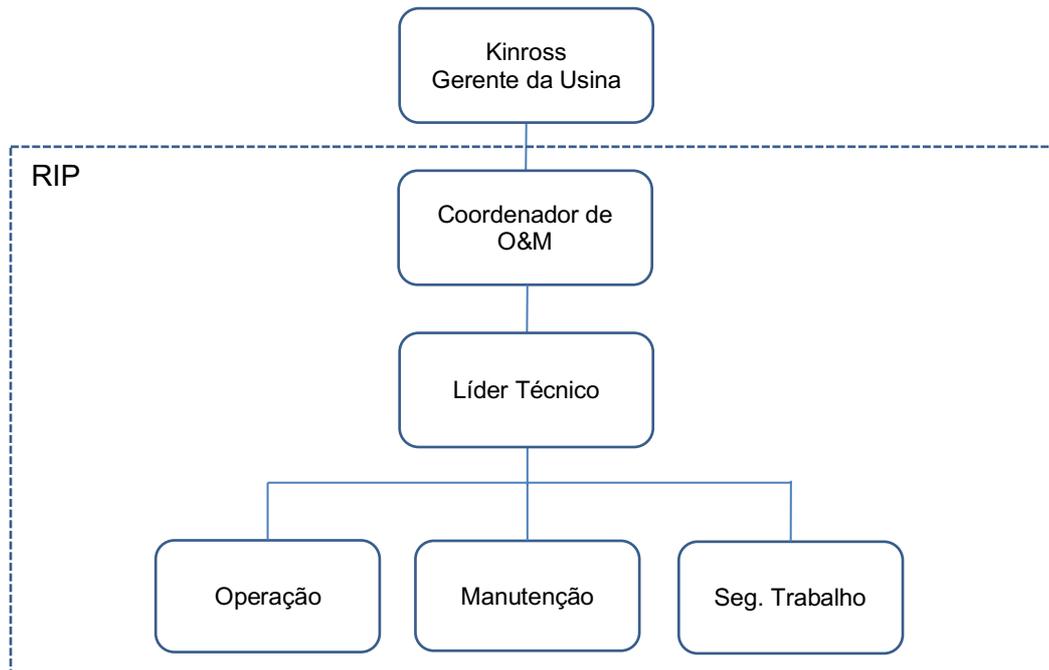


FIGURA 1 - ESTRUTURA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.

Estrutura da equipe local da RIP:

- Um Coordenador de O&M, que também atua na UHE Barra dos Coqueiros;
- Um Líder Operacional;
- Operação
 - Dois Operadores/Mantenedores por turno 24/7;
 - Durante as intervenções de maior porte um Operador/Mantenedor adicional atua diretamente, mantendo os dois operadores do turno em suas atividades de rotina;
- Manutenção
 - Dois Técnicos Eletrotécnicos;
 - Dois Técnicos Mecânicos;
 - Um Técnico Eletrônico;
 - Um Técnico de Automação, que também atua na UHE Barra dos Coqueiros;
- Segurança do Trabalho
 - Um Técnico de Segurança do Trabalho

Para a gestão da operação e da manutenção estão em fase de implantação de um sistema computacional, chamado Engeman, bastante difundido no Brasil.

3. AVALIAÇÕES

3.1. SISTEMA DE CORRENTE ALTERNADA

3.1.1. Descritivo

O sistema de corrente alternada possui cinco opções de entrada de energia que alimentam o Quadro Principal de Serviços Auxiliares (QPSA), que possui duas barras independentes, uma para as cargas normais e outra para as cargas essenciais. Normalmente essas barras operam interligadas.

Essa configuração é mostrada na FIGURA 2. O sistema possui cinco entradas, mas em termos de confiabilidade o sistema possui quatro entradas, pois o transformador TSA2 é compartilhado pela UG2 e pela SE. Mesmo assim o sistema é muito robusto, podendo operar em diversas configurações.

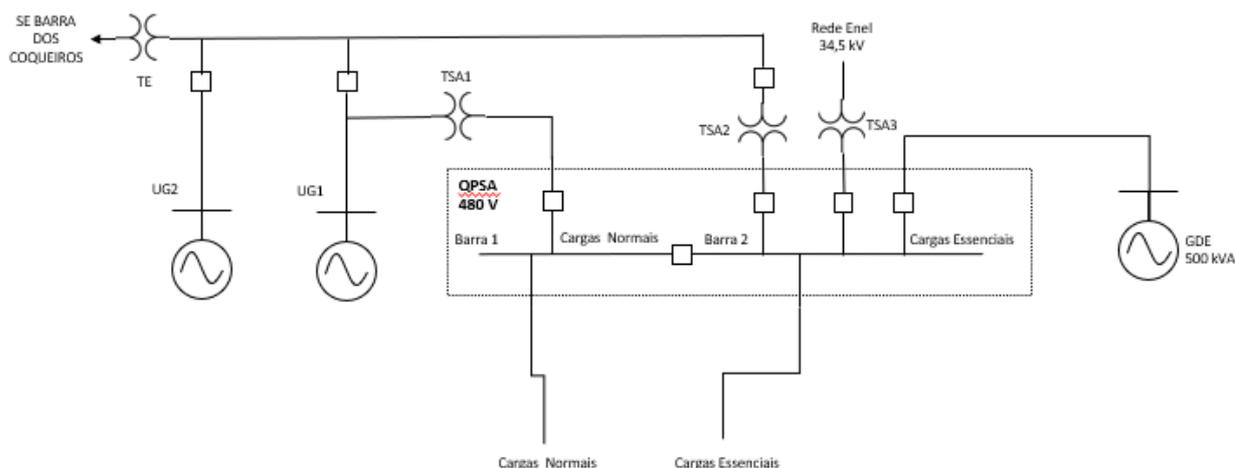


FIGURA 2 - SISTEMA DE CORRENTE ALTERNADA.

O Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) disponibiliza a supervisão pelo operador do sistema de corrente alternada, através de tela com visualização do unifilar simplificado, alarmes e eventos, na estação de operação localizada na sala de controle.

A documentação indica que a tensão de entrada da fonte externa (concessionária de distribuição) é de 13,8 kV mas de acordo com a operação e conforme consta na identificação de segurança junto ao TSA3 é de 34,5 kV.

O gerador diesel de emergência (GDE) é inspecionado e operado em testes semanalmente, conforme rotina estabelecida em procedimento pela operação. A manutenção preventiva periódica é realizada por uma empresa especializada, com a execução dentro do prazo, conforme registro no quadro de comando do gerador. Quanto ao teste periódico, os

fabricantes estabelecem como recomendação a realização também com carga, porém está sendo testado apenas a vazio.

O reservatório de óleo diesel instalado tem capacidade de 250 litros, que aparenta ser uma capacidade baixa para o porte do GDE. Na inspeção do local do almoxarifado comum na UHE Barra dos Coqueiros foram encontrados dois tanques antigos, com capacidade de 1.000 litros cada. Aparentemente os tanques originais foram substituídos por tanques menores. Na análise da documentação não foi possível confirmar qual a capacidade de projeto. O Manual de Operação do GDE (documento 1027/02-5R-MA-0409, revisão 0) contém somente a capa.

3.1.2. *Inspeção e Manutenção do Sistema de Corrente Alternada*

O sistema de corrente alternada possui plano de manutenção estabelecido para os seguintes ativos

- QPSA: Periodicidade bimestral e anual;
- Transformador TSA3: Periodicidade trimestral;
- Transformadores TSA1 e TSA2: Periodicidade trimestral e anual;
- Gerador diesel de emergência: Periodicidade mensal pela equipe própria e semestral pela equipe própria e por empresa especializada.

Não foi obtido histórico das manutenções periódicas de menor frequência e maior amplitude realizados pela empresa de O&M anterior.

3.2. SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA

3.2.1. *Descritivo*

O sistema de corrente contínua principal é formado por duas fontes. Cada fonte é constituída por um inversor alimentados pelo QPSA em 480 VCA e por um banco de baterias de 125 VCC.

Cada inversor é alimentado por uma saída do QPSA proveniente de barras diferentes, com a fonte um alimentada pela barra para cargas essenciais e a fonte dois alimentada pela barra para cargas normais. Essa configuração é mostrada na Figura 3.

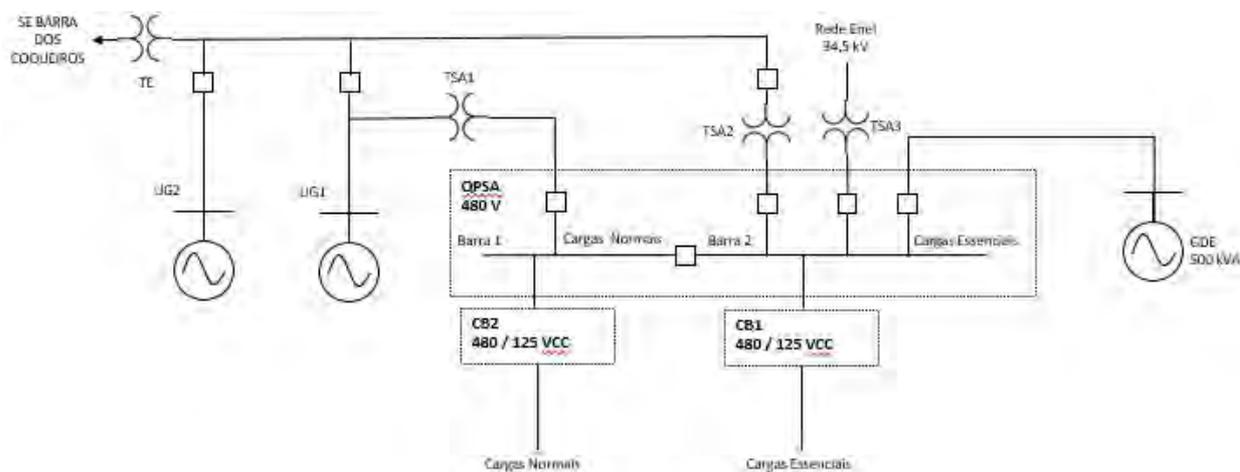


FIGURA 3 - SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA

O SDSC disponibiliza a supervisão pelo operador do sistema de corrente contínua, através de tela com visualização do unifilar simplificado, alarmes e eventos, na estação de operação localizada na sala de controle.

As baterias são do tipo seladas mantidas em sala específica com climatização adequada. As baterias são originais da construção da usina, não sendo possível confirmar a data de ativação. Um dos bancos de bateria tem em sua placa a indicação de fabricação em setembro/2009 e o outro banco não possuía mais a placa, mas infere-se pelo estado que é da mesma época. Como a usina entrou em operação comercial em 2010 então nesse ano as baterias já estavam ativadas e em operação.

As baterias são a base do sistema de corrente contínua e assim sua confiabilidade deve ser adequada. Após ultrapassar a vida útil a bateria pode apresentar um comportamento de queda abrupta de tensão e carga sem nenhum sinal prévio (“morte súbita”). Embora a configuração da usina utilize dois bancos de baterias, ambas foram ativadas na mesma época e submetidas ao mesmo tipo de uso, ambiente, conservação e manutenção, ou seja, a falha pode ocorrer em ambas. Destaca-se que a vida útil das baterias é fortemente afetada pela temperatura e não há evidências que esse ambiente tenha sido monitorado, impedindo uma avaliação se a vida útil não possa ser até inferior ao mínimo garantido pelo fabricante.

Esse tipo de bateria tem vida útil de 10 anos, então ambas as fontes já estão operando acima do limite da vida útil. A equipe da usina informou que já está no planejamento a troca das baterias.

Verificado na inspeção que a fonte um do sistema está com um dos polos com fuga a terra. Nessa condição, caso ocorra uma falha que leve o outro polo a terra essa fonte ficará inoperante.

3.2.2. Inspeção e Manutenção do Sistema de Corrente Contínua

O sistema de corrente contínua possui plano de manutenção estabelecido, para os seguintes ativos:

- Carregadores e baterias: Periodicidade bimestral e anual;
- Quadros QCCG1, QCCG2 e QCCCF: Periodicidade bimestral.

Não foi obtido histórico das manutenções periódicas de menor frequência e maior amplitude realizados pela empresa de O&M anterior.

3.3. COMPORTAS DO VERTEDOIRO

3.3.1. Descritivo

O vertedouro de superfície possui três vãos com controle por comportas tipo segmento, com acionamento por cilindros hidráulicos.

A regra normal de operação é manter a cota do reservatório na elevação 477,00 msnm.

No caso de uma falha do sistema que cause o fechamento das comportas o nível do reservatório se elevará. Para impedir que o nível atinja a cota da crista da barragem (El. 479,00 msnm) deve ser conhecido o tempo disponível para atuação da manutenção. As estimativas de tempo até o vertimento de emergência, considerando o reservatório em operação no nível normal (El 477,00 msnm) após uma falha geral das comportas é mostrado na tabela a seguir. Os detalhes dessa estimativa estão no Anexo A.

Condição	Tempo (horas)
Tempo máximo até a cota limite na vazão da decamilenar e sem geração	4,53
Tempo máximo até a cota limite na vazão da decamilenar com as duas unidades geradoras em operação	5,20
Tempo máximo até a cota limite na máxima vazão da série histórica e sem geração	16,68
Tempo máximo até a cota limite na máxima vazão da série histórica e com as duas unidades geradoras em operação	31,87

3.3.2. Sistema de Comando e Controle

O sistema de comando e controle para as comportas vertedouro envolve basicamente:

- Unidade hidráulica (ou oleodinâmica): Responsável pelo suprimento de óleo em alta pressão (160 bar) para o acionamento dos cilindros hidráulicos das comportas segmento. Existem duas unidades hidráulicas, uma para as comportas um e dois e outra para a comporta três;
- Quadro de comando e controle de cada unidade hidráulica: Responsável pelo acionamento das motobombas, podendo ter acionamento local manual ou serem acionados quando ocorrem comandos de posicionamento das comportas. Existem dois painéis, um para as comportas um e dois (QUHVT1) e outro para a comporta três (QUHVT2);
- Quadro de comando e controle das comportas: Responsável pela supervisão e controle das comportas, medição da posição e permite comandos locais ou recebe comandos remotos, via sistema de supervisão e controle. Existem dois painéis, um para as comportas um e dois (QCVT1) e outro para a comporta três (QCVT2);
- Quadro de supervisão e controle do vertedouro (QSVT) que contempla as unidades remotas de entrada e saída para integração ao (SDSC).
- Quadro de corrente contínua do vertedouro (QCCVT) que faz a distribuição de alimentação em corrente contínua para os sistemas do vertedouro;
- Quadro de distribuição de corrente alternada do vertedouro (QDVT) que faz a distribuição de alimentação em corrente alternada para os sistemas do vertedouro.

O sistema foi projetado para permitir a abertura e fechamento em passos, conforme tabela abaixo.

Passos	Aberturas (m)
1º	0,10
2º	0,25
3º	0,50
4º	0,75
5º	1,00
6º	1,50
7º	2,00
8º	2,50
9º	3,00
10º	3,50
11º	4,00
12º	5,00
13º	6,00
14º	7,00
15º	8,00
16º	9,00
17º	9,80 (TA)

Também foi projetado para aceitar abertura e fechamento por comandos remotos a partir da sala de controle da usina, mas o comando remoto e o posicionamento por posição estavam inoperantes, sendo as comportas posicionadas por comando manual local. O relatório de inspeção da ANEEL identificou e prescreveu a regulagem e testes operacionais nos indicadores de posição de abertura das Comportas do Vertedouro.

O sistema original, com a utilização de *encoder* e sensores de posição está sendo modernizado, com a instalação de inclinômetros para a realização a medição e a atualização do software do controlador lógico programável, permitindo o comando remoto a partir da sala de controle, via sistema supervisor. Além do comando individual para cada comporta também será contemplado a opção de comando conjunto, com o sistema assumindo o posicionamento sequencial das três comportas para a posição desejada. No período do levantamento de campo o trabalho já estava concluído na comporta um e estava em andamento o trabalho na comporta dois. O trabalho em todas as comportas foi concluído em junho/2021 e o relatório do trabalho foi disponibilizado, faltando a atualização da documentação.

Com o sistema modernizado será possível posicionar as comportas em qualquer abertura, adequando-se aos procedimentos presentes no Manual de Operações Hidráulicas.

Em aproveitamento que estava ocorrendo esta implementação, com a comporta dois ensecada, foram aplicados comando de abertura e fechamento totais, com operação satisfatória. Os tempos dessa operação não foram computados, pois foi realizada sem água o que afeta a lubrificação normal da vedação e conseqüentemente os tempos de operação.

A usina está em processo de implementação de um sistema de acionamento de emergência, baseado em bomba com acionamento por motor a diesel, conectada diretamente a linha de pressão. Com esse sistema será possível abrir e fechar as comportas com total independência dos sistemas de controle e de alimentação AC e DC da usina. Esse sistema garantirá uma alternativa a perda de corrente alternada para as centrais hidráulicas ou perda de corrente contínua para os painéis de controle das comportas.

Também garantirá a opção de operação se houver indisponibilidade dos quadros QCVT1 ou QUHVT1, que causariam impedimento de operação de duas comportas simultaneamente, sendo essa uma condição proibitiva.

Esse sistema compreende uma unidade para as comportas um e dois e outra unidade para a comporta três. Já está instalado e passando por testes finais de aceitação e implantação de procedimentos para sua utilização.

No quadro QSVT foram observadas vários cabos sem anilhas de identificação, portando identificação com etiqueta adesiva, aparentando ser ainda da época da obra.

Nas unidades hidráulicas tem um indicador de temperatura de óleo, mas está inoperante. Em sistemas hidráulicos que não são acionados continuamente, como é o caso das comportas do vertedouro, tal monitoramento em muitos casos é opcional. Pode ser que tenha sido danificado e pela característica exposta acima tenha deixado de ser utilizado.

3.3.3. Sistema de Corrente Contínua

A alimentação de corrente contínua para o comando e controle dos dispositivos eletromecânicos das comportas do vertedouro é realizado através do Quadro de Corrente Contínua do Vertedouro (QCCVT), composto de duas barras independentes, alimentadas pelas seguintes fontes:

- Barra 1: QCCG1 – Quadro principal 1 de corrente contínua;
- Barra 2: QCCG2 – Quadro principal 2 de corrente contínua.

O QCCVT alimenta as seguintes cargas, com saídas a partir das duas barras:

- QDVT – Quadro de serviços auxiliares em corrente alternada do vertedouro;
- QSVT – Quadro de supervisão e controle do vertedouro;
- QCVT1 – Quadro de controle local das comportas segmento 1 e 2;
- QCVT2 – Quadro de controle local da comporta segmento 3.

Uma visão geral do sistema de alimentação em corrente contínua para os sistemas do vertedouro é mostrada na Figura 4.

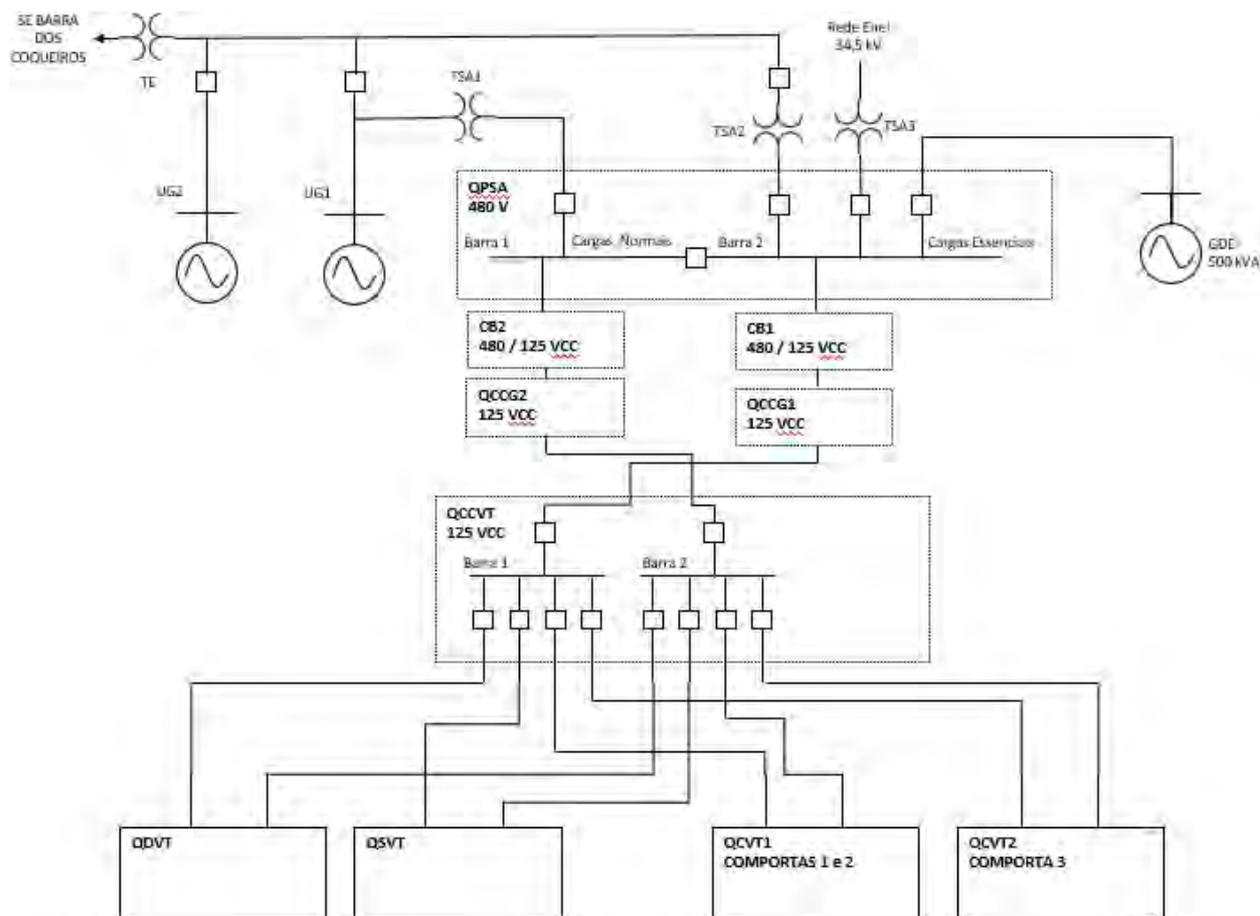


FIGURA 4 - SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO CC PARA O VERTEDOIRO

Todos os quadros possuem alimentação a partir de duas fontes distintas. Pela configuração apresentada é possível concluir que o sistema se mantém operacional, mesmo se uma falha simples ocorrer, causando a perda de uma fonte de alimentação, inclusive suportando a perda de uma fonte de corrente contínua e uma fonte de corrente alternada.

3.3.4. Sistema de Corrente Alternada

A alimentação de corrente alternada para as unidades hidráulicas das comportas do vertedouro é realizada através do quadro QDVT, composto de duas barras que podem operar de maneira independente ou interligadas, alimentadas pelas seguintes fontes:

- QPSA – Alimentador 1;
- QPSA – Alimentador 2.

O QDVT além de ser alimentado por duas fontes distintas também disponibiliza duas saídas para cada um dos quadros de alimentação das unidades hidráulicas (QUHVT1 e QUHVT2).

O quadro QDVT possui ainda alimentação para a supervisão e controle em 125 VCC com duas entradas em paralelo, podendo operar com apenas uma delas.

Uma visão geral do sistema de alimentação em corrente alternada para os sistemas do vertedouro é mostrada na Figura 5.

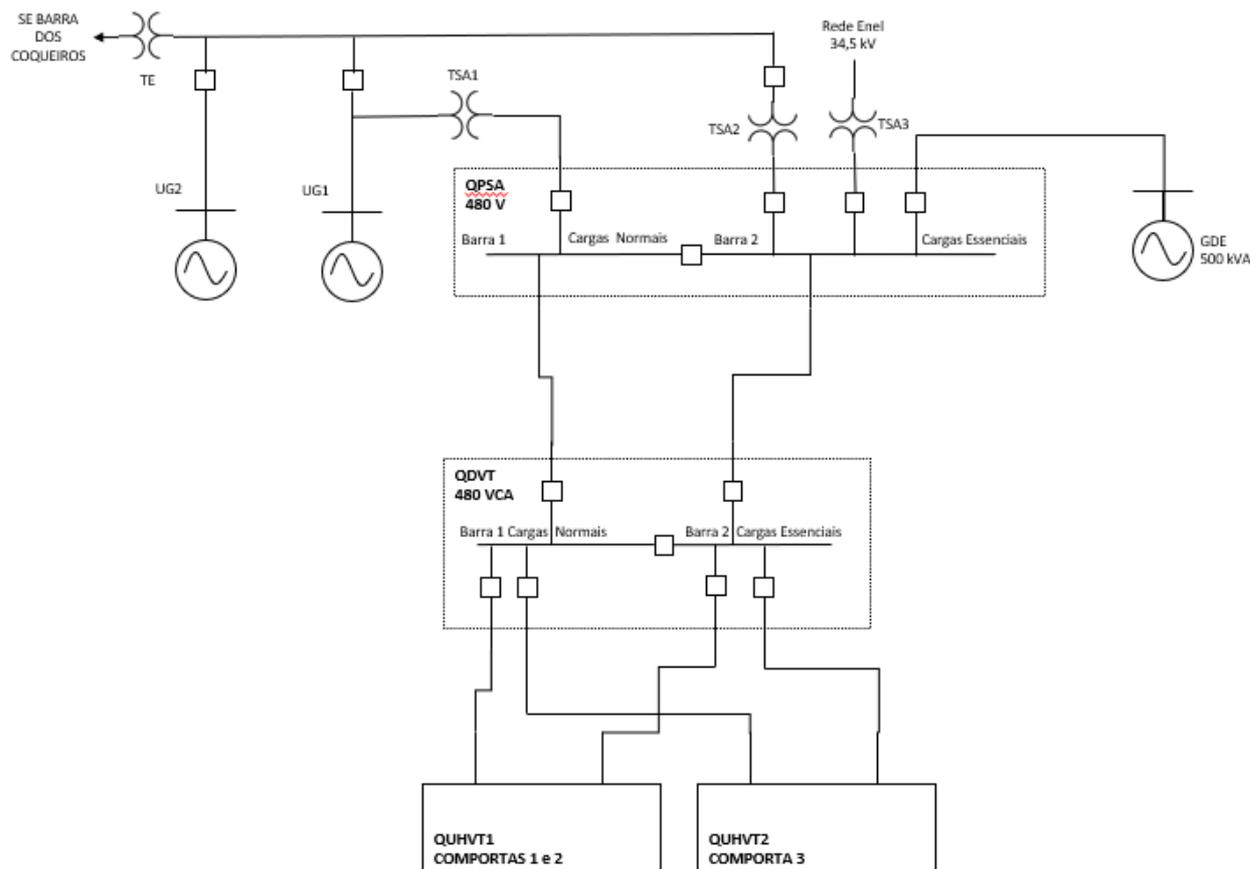


FIGURA 5 - SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO CA PARA O VERTEDOIRO

O sistema de corrente alternada opera em 480 VCA e as motobombas das unidades hidráulicas também são em 480 VCA, conforme dados presentes no manual de operação e manutenção da comporta segmento, confirmado no dado de placa. Usualmente os sistemas de corrente alternada das usinas são operados em tensões acima das cargas, por exemplo, sistemas em 480 VCA e cargas em 460 VCA. Com isso se garante um tensão de operação mais próxima da nominal mesmo para as cargas mais distantes das fontes, o que pode ser o caso o vertedouro em relação as fontes de tensão em corrente alternada. No caso das cargas com tensão igual a das fontes AC os cabeamentos devem ter sido bem dimensionando de forma que a queda de tensão fique dentro dos limites estabelecidos, sem causar danos ou envelhecimento precoce nos enrolamentos dos motores.

Os quadros de controle das unidades hidráulicas possuem um seletor local, para selecionar de qual barra do QVDT será utilizada a alimentação em corrente alternada para as motobombas.

Na documentação o sistema de corrente alternada é conectado aos quadros QCVT1 e QCVT2 e não nos quadros de comando e controle das unidades hidráulicas (QUHVT1 e QUHVT2). Ao se verificar os tags das gavetas do QVDT também está identificada a conexão nos quadros QCVT1 e QCVT2. Essa identificação aparenta estar errada, pois pela observação do funcionamento aparenta que a alimentação AC é apenas para os quadros QUHVT1 e QUHVT2.

Pela configuração apresentada é possível concluir que o sistema se mantém operacional, mesmo se uma falha simples ocorrer, causando a perda de uma fonte de alimentação, inclusive suportando a perda de uma fonte de corrente contínua e uma fonte de corrente alternada.

3.3.5. Operação das Comportas do Vertedouro

As instruções de operação do vertedouro foram atualizadas em dezembro/2020 em um novo e completo Manual de Operação Hidráulica. Esse manual é de amplo conhecimento e uso pela equipe de operação.

Esse manual faz referência as responsabilidades do ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, pois a usina é classificada como Tipo 1, ou seja, despachada centralizadamente, com as devidas referências aos procedimentos de rede. Como o manual de operação hidráulica é de 2020 o atendimento aos procedimentos de rede ou no mínimo as referências podem estar em desacordo, visto que houve uma revisão completa nos procedimentos de rede, que entraram em vigor em janeiro/2021.

A rotina de operação mantém registros do controle do reservatório, conforme o que estabelece o submódulo 10.22 (MPO 4.3.2) – Rotina operacional RO-AO.BR.02 – Apuração dos Dados Hidrológicos e Hidráulicos (ONS).

Dispõem também de instruções específicas de manutenção da vazão sanitária pelo vertedouro, no caso de parada das duas unidades geradoras.

Para a operação do vertedouro a referência de medição de níveis de montante e jusante são baseadas em um sistema de medições hidráulicas modernizado recentemente que conta com duas sondas ultrassônicas e uma sonda hidrostática, atuando de forma redundante, tanto para a medição de montante como para a medição de jusante.

Também foi apresentado pela Operação o PAE-Plano de Ação de Emergências associado a segurança da barragem.

Todavia esses documentos não contemplam tratamento de contingências, como perda de fontes de alimentação ou outras situações que requeiram a ação fora da rotina da operação, como será o caso para a operação das motobombas a diesel como opção para abertura ou fechamento do vertedouro.

Existia um plano de contingência que, embora não estivesse completo, abordava mais contingências operacionais internas da usina. Esse documento era da antiga empresa de O&M e não é de conhecimento da atual empresa de O&M.

3.3.6. *Inspeção e Manutenção das Comportas do Vertedouro*

Os quadros elétricos das comportas do vertedouro possuem plano de manutenção estabelecido, com limpeza quinzenal. Especificamente o quadro QDVT possui também planejamento para manutenção de maior porte bimestral.

Nas tarefas a serem executadas não foram observadas atividades importantes, como a realização de apertos nas conexões elétricas, especialmente nos barramentos e circuitos de potência. Esse tipo de atividade foi realizada na UHE Barra dos Coqueiros, juntamente com a manutenção corretiva/preventiva dos cilindros hidráulicos da comporta 2 da UHE Barra dos Coqueiros, ocorrida entre setembro e novembro/2020. Não ficou registrado claramente se os sistemas elétricos da UHE Caçu também foram abordados, pois o relatório técnico disponível é apenas da UHE Barra dos Coqueiros e a apresentação disponível do serviço cita apenas as unidades hidráulicas da UHE Caçu.

As unidades hidráulicas possuem plano de manutenção bimestral, mas não foi observado um plano de manutenção com maior periodicidade e maior abrangência.

As unidades hidráulicas sofreram manutenção preventiva/corretiva. Todavia essa manutenção teve como foco os aspectos mecânicos, sem registros de atividades realizadas nos dispositivos elétricos.

Não foi obtido histórico das manutenções periódicas de menor frequência e maior amplitude realizados pela empresa de O&M anterior.

3.4. SISTEMA DE DRENAGEM DA CASA DE FORÇA

3.4.1. *Descritivo*

A drenagem é realizada através da captação da água de toda a casa de força até um poço de drenagem, com a base na elevação 423,20 msnm e tampa na elevação 446,10 msnm. Essa água é drenada para jusante através de duas motobombas submersas, sendo uma

suficiente para o ciclo de operação normal e a outra atuando como reserva. Cada motobomba tem capacidade de drenar 113% da vazão afluyente para o poço. Na operação em contingência, como aumento da vazão de água para o poço, as duas motobombas podem operar simultaneamente.

Existem válvulas que permitem interligar o poço de drenagem com o poço de esgotamento. Essa interligação permite a drenagem também pelas bombas de esgotamento, podendo ser utilizada na falta do sistema de drenagem. Quando o poço de esgotamento não está sendo utilizado para esgotamento de uma das unidades geradoras as válvulas ficam abertas, disponibilizando então o sistema de esgotamento, com seu volume útil e suas duas motobombas para auxiliar a drenagem, caso necessário.

O poço de drenagem foi dimensionado para coletar água por pelo menos uma hora no caso de falha das duas motobombas. Caso o poço de esgotamento esteja disponível, este acrescenta um volume de 2.150 m³ para a coleta de água ao sistema de drenagem, considerando o volume do esgotamento total de uma unidade geradora, conforme relatório técnico – critérios – sistema de esgotamento e enchimento. Assim com os dois poços interligados o sistema armazena água por cerca de três horas. Então esse é o tempo máximo para normalizar o sistema, caso tenha uma falha geral com o bombeamento. Esses tempos foram obtidos da documentação e aparentam ser pouca capacidade de armazenamento ou a afluência considerada ser muito elevada.

3.4.2. Sistema de Comando e Controle

O sistema de comando e controle, bem como a alimentação do sistema de drenagem é realizado pelo Quadro de Controle de Motores da Drenagem e de Esgotamento (CCMDE), localizado na Galeria Mecânica (El. 446,10 msnm). Nesse quadro estão localizados todos os dispositivos de supervisão e controle automático de acionamento das motobombas de drenagem, como o indicador e controlador de nível. Dispõe de comando manual local das bombas e seleção da bomba principal e reserva com o objetivo de realizar o rodízio entre elas. O seletor está com a lógica invertida da plaqueta de indicação local.

O rodízio entre as bombas é realizado semanalmente de forma manual pelos operadores, mas não foi observado procedimento formal para essa manobra.

O SDSC tem apenas função de supervisão, disponível na estação de operação da sala de controle.

A lógica de drenagem, conforme consta na documentação técnica, é:

- Motobomba principal (1ª bomba): Liga El. 425,00 msnm e desliga El. 424,00 msnm;
- Motobomba reserva (2ª bomba): Liga El. 425,50 msnm e desliga El. 424,00 msnm;

O sistema tem disponível alarme de nível alto na cota 426,00 msnm e alarme e desligamento das bombas de drenagem com nível baixo em 423,90 msnm. A operação informou que além do que consta na documentação com nível alto existe ainda um alarme de nível muito alto.

Na inspeção de campo foi acompanhada a operação de forma automática da motobomba e através de acionamento manual. Os níveis de operação automática observados foram diferentes daqueles apontados na documentação técnica, conforme segue:

- Motobomba principal ligou: El. 426,8 msnm;
- Motobomba principal desligou: El 424,3 msnm.

A operação não soube confirmar os níveis de atuação do automatismo das motobombas e dos alarmes. No quadro CCMDE havia uma identificação (da antiga empresa de O&M) dos níveis de atuação do automatismo, mas estavam também distintos dos observados e essa identificação foi removida naquele momento pelo operador.

O acesso rápido as informações dos níveis associado ao sistema de drenagem permite aos operadores uma correta avaliação de eventuais problemas e uma rápida atuação para normalização.

Foi verificado que as sondas de medição dos níveis de drenagem estão sem as identificações (tags). A falta dessas identificações podem acarretar problemas na execução de inspeção/manutenção, podendo causar confusão na equipamento a ser atuado.

3.4.3. Sistema de Corrente Contínua

A alimentação de corrente contínua para o comando e controle dos dispositivos eletromecânicos do sistema de drenagem no quadro CCMDE é realizado através do Quadro de Distribuição de 125 VCC das Cargas Gerais (QCCCF), composto de duas barras independentes, alimentadas pelas seguintes fontes:

- Barra 1: QCCG1 – Quadro principal 1 de corrente contínua;
- Barra 2: QCCG2 – Quadro principal 2 de corrente contínua.

Cada uma das barras fornece uma fonte independente para o quadro CCMDE. Uma visão geral do sistema de alimentação em corrente contínua para os sistemas da drenagem é mostrada na Figura 6.

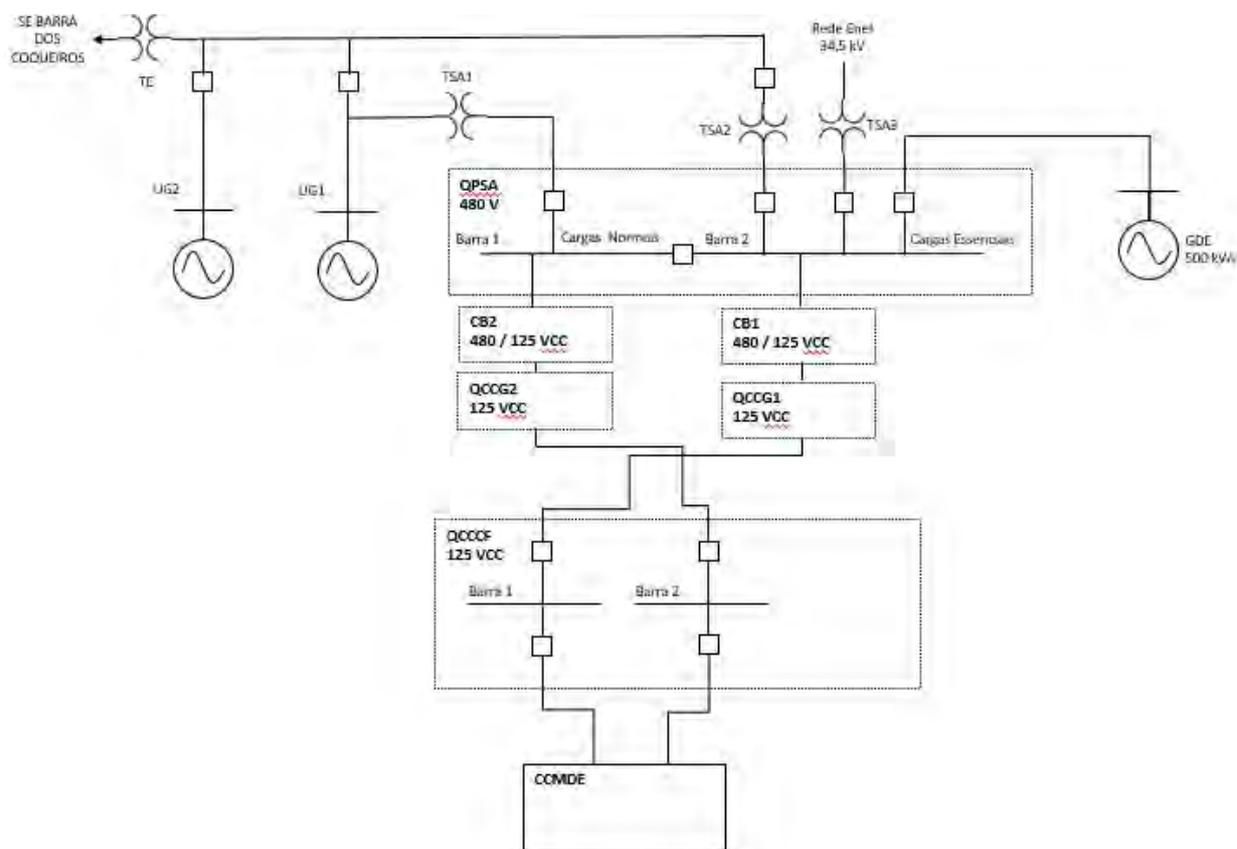


FIGURA 6 - SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO CC PARA A DRENAGEM

Pelo diagrama apresentado, é possível concluir que o sistema se mantém operacional, mesmo se uma falha simples ocorrer.

3.4.4. Sistema de Corrente Alternada

A alimentação de corrente alternada para o sistema de drenagem é realizada pelo quadro CCMDE, que possui uma barra de 480 VCA, alimentada a partir de duas opções de fontes, listadas abaixo:

- QPSA – Alimentador 1;
- QPSA – Alimentador 2.

A barra de 480 VCA do CCMDE alimenta as duas motobombas, além do sistema comum de controle da drenagem.

O quadro CCMDE possui alimentação para a supervisão e controle em 125 VCC com duas entradas em paralelo, podendo operar com apenas uma delas.

Uma visão geral do sistema de alimentação em corrente alternada para o sistema de drenagem é mostrada na Figura 7.

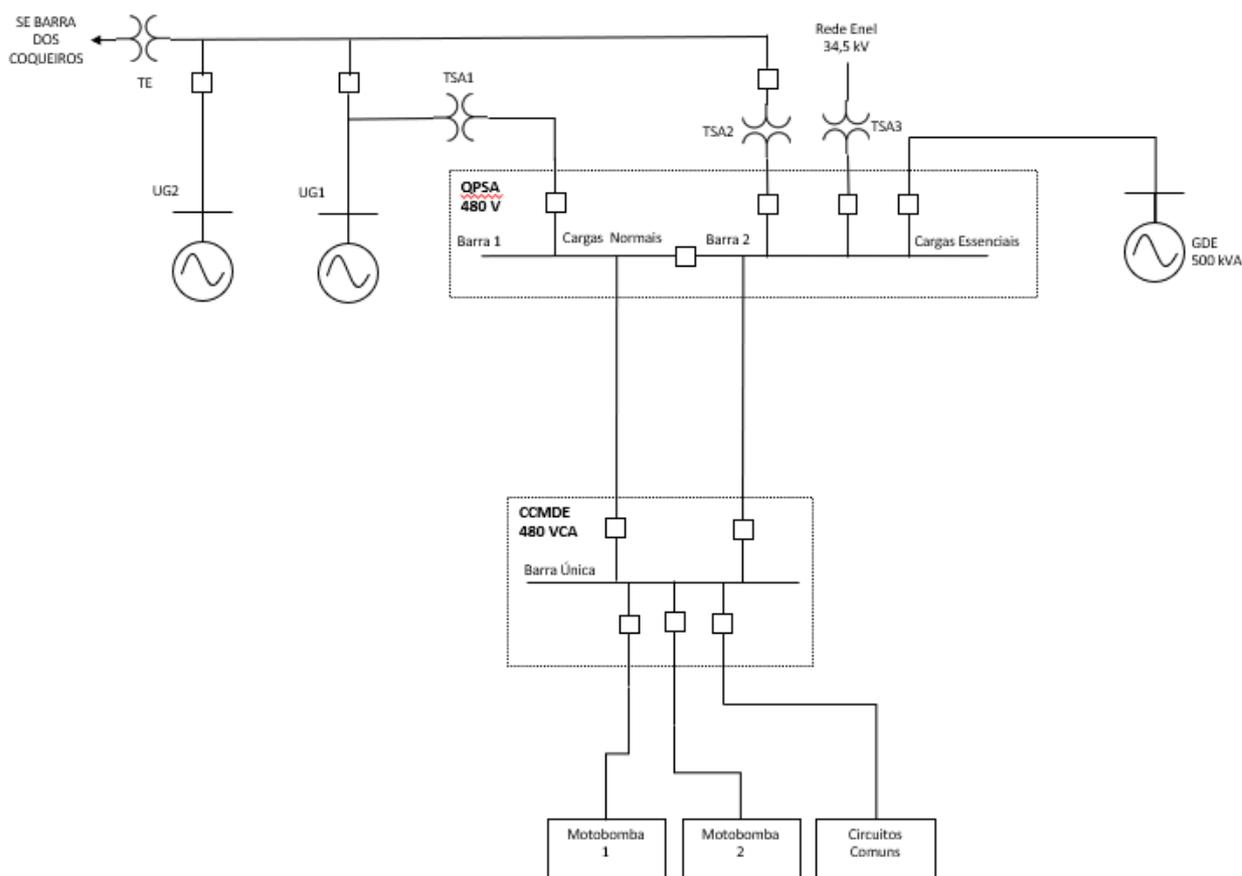


FIGURA 7 - SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO CA PARA A DRENAGEM

O sistema de corrente alternada opera em 480 VCA, com as motobombas com tensão nominal de 460 VCA o que garante um bom desempenho com relação a queda de tensão entre a fonte e as cargas.

Embora o CCMDE tenha duas possibilidades de alimentação de entrada, provenientes de caminhos distintos, a entrada selecionada alimenta uma barra única que será a fonte para as duas motobombas de drenagem. Assim, havendo uma falha simples que afete essa barra, as duas motobombas da drenagem ficarão indisponíveis. Existe a opção de interligar o poço de drenagem com o poço de esgotamento para permitir a drenagem pelas duas motobombas de esgotamento. Todavia essas duas motobombas também são alimentadas pela mesma barra do CCMDE e ficariam indisponíveis na falha simples que afete a barra única do CCMDE. Existe histórico de que seguradoras apontam a necessidade desse sistema ser alimentado com duas barras independentes.

3.4.5. Operação do Sistema de Drenagem

A operação do sistema de drenagem é automática, conforme apresentado no item 3.4.2, com a operação apenas fazendo a supervisão a partir do SDSC.

A operação conhece a função de interligação do poço de drenagem ao poço de esgotamento e utilização das motobombas de esgotamento em caso de falha nas motobombas de drenagem. Porém não existe um plano de contingência com instruções a respeito.

Existia um plano de contingência, que embora não estivesse completo, abordava mais contingências operacionais internas da usina. Esse documento era da antiga empresa de O&M e não é de conhecimento da atual empresa de O&M.

Após a inspeção de campo, foi disponibilizado um documento de O&M, emitido em 26/06/2021, com instruções sobre o sistema de drenagem e esgotamento, mas o foco maior é no esgotamento, não tendo instruções específicas sobre a drenagem, como a questão da interligação dos poços ou a questão de falhas nas motobombas de drenagem. Tampouco não contempla os procedimentos para a realização do rodízio entre as motobombas.

3.4.6. *Inspeção e Manutenção do Sistema de Drenagem*

O sistema de drenagem tem como uma característica, de certa forma, se auto testar, pois conhecido o comportamento prévio em algumas condições, tem-se os tempos que motobomba permanece desligada e o tempo que a motobomba permanece ligada. Mudanças nesses tempos podem indicar uma maior afluência de água no poço de drenagem ou um menor rendimento das motobombas devido a algum problema.

Não foi verificado com a operação um procedimento de registro desses tempos e uma avaliação periódica da condição de operação da drenagem, com a medição dos tempos de enchimento (até a entrada em operação de uma motobomba) e o tempo de drenagem (até o desligamento da motobomba). Essa verificação é realizada apenas no plano de manutenção estabelecido, com periodicidade bimestral, envolvendo o quadro elétrico e as motobombas. Nas tarefas a serem executadas não foram observadas atividades importantes, como a realização de apertos nas conexões elétricas, especialmente nos barramentos e circuitos de potência. Também dispõem de um plano de manutenção bimestral, mas engloba apenas uma inspeção simples e limpeza.

Não foi obtido histórico das manutenções periódicas de menor frequência e maior amplitude realizados pela empresa de O&M anterior.

3.5. SOBRESSALENTES

Uma questão comum a todos os sistemas avaliados nesse relatório é referente a disponibilidade dos sobressalentes. Equipamentos elétricos dependem de condições

especiais de armazenamento quanto a umidade e temperatura. E alguns deles, como no caso dos motores, principalmente os de eixo horizontais dependem de ação periódica de manutenção, mesmo fora de uso.

A usina dispõe de um pequeno almoxarifado localizado na casa de força, onde estão armazenados alguns equipamentos sobressalentes de pequeno porte e materiais de consumo. De acordo com a nova empresa de O&M ainda está em processo de organização física e de implementação de controle de estoque no sistema de O&M. Todavia a condição encontrada na inspeção é inadequada. Quanto a climatização do local, requerida pelos equipamentos elétricos e eletrônicos presentes, havia um condicionado de ar, porém apresentou problema e foi retirado, ficando apenas a abertura na parede. Não foram observados componentes do sistemas ou de mecanismos (identificação) para localizá-los. A equipe de O&M informou que estão providenciando um levantamento visando adquirir materiais.

Na UHE Barra dos Coqueiros tem um almoxarifado que é compartilhado entre as duas usinas, uma vez que a maioria dos equipamento são idênticos e a distância entre as usinas é pequena. Esse almoxarifado suporta equipamentos sobressalentes de grande porte, como transformador de excitação e radiadores do gerador. Porém está em péssimas condições, faltando parte do telhado e totalmente desorganizado.

Recentemente foi adquirida uma motobomba de drenagem sobressalente, que está guardada nesse almoxarifado, que não apresenta condições de armazenamento para esse tipo de equipamento.

3.6. DOCUMENTAÇÃO

Embora o objetivo da avaliação não contemplasse a documentação, sua utilização é parte desse tipo de trabalho e dessa forma foi avaliada.

Contatou-se que diversos documentos estão como revisão 0x (x = letras) indicando serem documentos oriundos do projeto executivo, nem sempre estando liberados para a execução. Documentos oriundos desse estágio, além de não necessariamente estarem aprovados, podem não representar a real situação em campo, devido a alterações oriundas da instalação e do comissionamento.

Na inspeção em campo confirmou-se que existem algumas discrepâncias entre a instalação e a documentação. Nessa condição ações de operação e manutenção podem não ser adequadas pelo uso de informações incorretas.

4. RECOMENDAÇÕES

Com base na avaliação realizada são apresentadas as recomendações, para cada sistema e indicada a prioridade de atendimento, considerando:

- Prioridade ALTA: Recomendação deve ser avaliada e incluída imediatamente em planejamento para atendimento em curto prazo;
- Prioridade MÉDIA: Recomendação deve ser avaliada e incluída imediatamente em planejamento para atendimento em médio prazo;
- Prioridade BAIXA: Recomendação deve ser avaliada, podendo ser planejada para atendimento a longo prazo.

4.1. SISTEMA DE CORRENTE ALTERNADA

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE
1	Casa de Força	Revisar o plano de inspeção periódica e incluir a operação do gerador diesel de emergência com carga. Como sugestão manter o teste a vazio semanal e realizar o teste com carga mensalmente.	ALTA
2	Casa de Força	Buscar na documentação ou histórico da operação a informação de capacidade de armazenamento de óleo diesel, confirmando a substituição ou não do reservatório original. Na ausência da documentação recomenda-se fazer uma avaliação da autonomia do sistema e definir a capacidade de armazenamento e, se necessário, substituir o reservatório.	MÉDIA
3	Casa de Força	Melhorias para o plano de manutenção de maior periodicidade: a) Inclusão tarefa de aperto das conexões (pelo menos nos circuitos de potência) nos quadros elétricos; b) Executar a manutenção periódica de maior abrangência logo, assumindo o período definido após essa execução.	ALTA

4.2. SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE
1	Casa de Força	Substituir as baterias	ALTA
2	Casa de Força	Proceder o quanto antes com a manutenção corretiva da indicação de fuga a terra de um dos polos da fonte um do sistema de corrente contínua.	ALTA
3	Casa de Força	Melhorias para o plano de manutenção de maior periodicidade: a) Inclusão tarefa de aperto das conexões (pelo menos de potência) nos quadros elétricos; b) Executar a manutenção periódica de maior abrangência logo, assumindo o período definido após essa execução.	ALTA

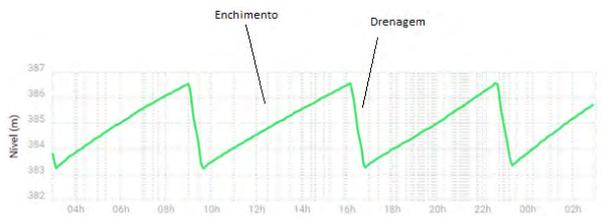
4.3. COMPORTAS DO VERTEDOIRO

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE
1	Vertedouro	Resgatar as informações do Plano de Contingência que já existia como base para a elaboração de um plano de contingência atualizado e disponível para uso pela equipe de O&M. Contemplando também a utilização do sistema de acionamento de emergência das comportas (motobombas a diesel), com instruções de quando e como deve ser utilizado.	ALTA
2	Vertedouro	Revisar o Manual de Operação Hidráulica com relação a revisão dos procedimentos de rede do ONS, em especial ao atendimento aos submódulo: <ul style="list-style-type: none">• Procedimento de Rede do ONS – Submódulo 2.5 – Critérios para Operação;• Procedimento de Rede do ONS – Submódulo 5.5 – Operação Hidráulica de Reservatórios.	MÉDIA
3	Vertedouro	Realizar testes através de manobras de isolamento para confirmar que a alimentação do QDVT é para os quadros QUHVT1 e QUHVT2 e não para os quadros QCVT1 e QCVT2. Caso confirmado revisar a documentação e os tags das gavetas do QDVT.	MÉDIA
4	Vertedouro	Prover etiquetas definitivas nos cabos do quadro QSVT que estão com etiquetas adesivas temporárias.	BAIXA

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE
5	Vertedouro	<p>Melhorias para o plano de manutenção de maior periodicidade:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Incluir tarefa de medição de resistência de isolamento, correntes e tensões das motobombas. Estabelecer procedimento para garantir que as medições realizadas, sejam registradas não apenas no registro da OS, mas de maneira a permitir a execução do cálculo, por exemplo dos índices de polarização e absorção, com a avaliação comparativa com as medições anteriores, com o objetivo de monitorar a condição das motobombas e permitir o apontamento de uma tendência ao defeito;b) Incluir tarefas de calibração dos instrumentos das unidades hidráulicas;c) Incluir tarefa de calibração da medição de posição das comportas, validando a consistência da indicação do transdutor de posição com a indicação na régua graduada;d) Inclusão tarefa de aperto das conexões (pelo menos de potência) nos quadros elétricos;e) Executar a manutenção periódica de maior abrangência logo, assumindo o período definido após essa execução.	ALTA
6	Vertedouro	Medir a tensão de alimentação das motobombas das unidades hidráulicas em operação e avaliar se está dentro da tolerância operacional desses equipamentos.	BAIXA
7	Vertedouro	Avaliar a aplicabilidade da medição e temperatura de óleo das unidades hidráulicas e conforme avaliação fazer a manutenção corretiva ou retirar dos sistemas, fazendo a desativação definitiva.	BAIXA
8	Vertedouro	Revisar a documentação aplicável com as alterações feita na <i>retrofit</i> do controle e supervisão das comportas.	MÉDIA

4.4. SISTEMA DE DRENAGEM DA CASA DE FORÇA

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE
1	Casa de Força	Prover uma alimentação alternativa de emergência para pelo menos uma motobomba de drenagem, para o caso de falha do barramento do CCMDE. O sistema possui uma caixa de interligação que pode ser substituída por uma caixa de interligação, chaveamento e acionamento manual da motobomba. A alimentação alternativa poderá vir diretamente de uma gaveta reserva do quadro QPSA.	ALTA
2	Casa de Força	Resgatar as informações do Plano de Contingência que já existia como base para a elaboração de um plano de contingência atualizado e disponível para uso pela equipe de O&M. Contemplando instruções em caso de falha do sistema de drenagem, com ações para confirmar a interligação ou proceder com a mesma, entre o poço de drenagem e o poço de esgotamento e comando das motobombas de esgotamento.	ALTA
3	Casa de Força	As instruções operacionais devem ser implantadas/revistas formalizando o procedimento de rodízio periódico entre as duas bombas de drenagem.	BAIXA
4	Casa de Força	Identificar e documentar nas instruções operacionais os níveis de automatismo das motobombas de drenagem e os alarmes associados.	ALTA
5	Casa de Força	Estabelecer um procedimento de avaliação periódica e registro da condição de operação da drenagem, com a medição dos tempos de enchimento (até a entrada em operação de uma motobomba) e o tempo de drenagem (até o desligamento da motobomba). Esse tempo deve ser registrado em algumas condições, como período úmido/seco, com uma/duas unidades geradoras em operação. Os registros devem ser comparados periodicamente como ferramenta de predição de problemas. Avaliar a possibilidade de obtenção desses dados a partir do SDSC, tendo como exemplo a Erro! Fonte de referência não encontrada. , ou fazer essa avaliação através da medição manual (cronometragem manual dos tempos). Como trata-se de avaliação rápida, de fácil execução e com os equipamentos em	MÉDIA

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE
		operação recomenda-se uma frequência de execução quinzenal.	
5	Casa de Força	 <p>FIGURA 8 - EXEMPLO DE COMPORTAMENTO DE SISTEMA DE DRENAGEM</p> <p>Essa verificação periódica permite eliminar tarefas que estão contempladas no plano bienal de manutenção periódica do sistema de drenagem, otimizando a execução e detectando problemas com mais antecedência que os dois anos previstos atualmente. Com esse teste confirmar o tempo que leva o enchimento típico do poço de drenagem.</p>	MÉDIA
6	Casa de Força	Providenciar a fixação de plaquetas de material durável com a identificação (tags) das sondas de medição de nível do poço de drenagem.	MÉDIA
7	Casa de Força	Adequar a condição operativa do seletor de motobomba principal (rodízio), corrigindo a plaqueta ou o circuito interno do quadro.	BAIXA
8	Casa de Força	Como o histórico da realização de manutenção no sistema pode não ser confiável, tendo em vista a troca da empresa de O&M, recomenda-se que a manutenção periódica de maior porte, com planejamento bienal, seja realizada inicialmente com periodicidade anual, para avaliar a condição operacional e confirmar a periodicidade adequada.	ALTA

Continua

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE
9	Casa de Força	<p>Melhorias para o plano de manutenção de maior periodicidade:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Estabelecer procedimento para garantir que as medições realizadas, como por exemplo a das resistências de isolamento das motobombas de drenagem, sejam registradas não apenas no registro da OS, mas de maneira a permitir a execução do cálculo dos índices de polarização e absorção a avaliação comparativa com as medições anteriores, com o objetivo de monitorar a condição das motobombas e permitir o apontamento de uma tendência ao defeito;b) Inclusão tarefa de aperto das conexões (pelo menos de potência) nos quadros elétricos;c) Executar a manutenção periódica de maior abrangência logo, assumindo o período definido após essa execução.	ALTA

4.5. SOBRESSALENTES

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE
1	Almoxarifados	<p>Os mecanismos de armazenamento e controle dos sobressalentes, dispositivos e ferramentas especiais devem passar por uma revisão completa, contemplando:</p> <ul style="list-style-type: none">• Reforma de grande monta visando recuperar a edificação do almoxarifado compartilhado com a UHE Barra dos Coqueiros;• Reforma geral do almoxarifado local da casa de força, incluindo a adequação da climatização;• Avaliação da condição dos materiais que foram armazenados um grande período em más condições. Guarda e controle daqueles que foram considerados adequados para o uso. Descarte dos materiais considerados inadequados para o uso;• Avaliação da instalação e ressuprimento dos materiais faltantes.	MÉDIA

4.6. DOCUMENTAÇÃO

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	PRIORIDADE
1	Geral	<p>Deve-se realizar a validação dos documentos, contemplando:</p> <ul style="list-style-type: none">• A aprovação dos documentos quanto a sua adequação, antes da sua emissão;• A análise crítica da adequação do documento e atualização, quando necessário, com a devida reaprovação;• Que as alterações e a situação da revisão atual dos documentos sejam identificadas;• Que os documentos nas suas revisões pertinentes estejam disponíveis nos locais de uso;• Que o uso não pretendido de um documento obsoleto seja evitado;• A identificação adequada aos documentos obsoletos nos casos em que eles forem retidos por qualquer propósito.	ALTA

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os níveis de disponibilidade e confiabilidade dos sistemas são atendidos pelas atividades de operação e manutenção, que englobam a combinação de ações técnicas e administrativas visando manter, modificar ou recolocar um equipamento ou sistema em estado operacional considerando os critérios de desempenho esperados.

Essas atividades envolvem manobras de operação, que tratam de ações supervisionadas para mudar o estado do equipamento, as inspeções operativas, que tratam das ações para avaliar o desempenho dos equipamentos ao longo do uso, o acompanhamento das condições de uso para obtenção e dados para uma predição antecipando problemas futuros, das manutenções planejadas, sejam preventivas ou corretivas, e, por fim, em último caso, da execução de manutenção corretiva não planejada.

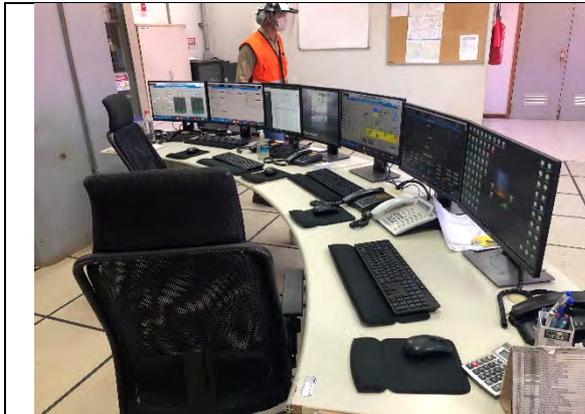
Para garantir a qualidade da execução e a melhoria quando requerida, essas atividades devem ser executadas conforme instruções e registros padronizados, com frequência e abrangência que variam para cada sistema ou equipamento do empreendimento, conforme critérios e normas específicos, tomando como base as especificações estabelecidas pelo fabricante, mas que não devem se restringir a estas.



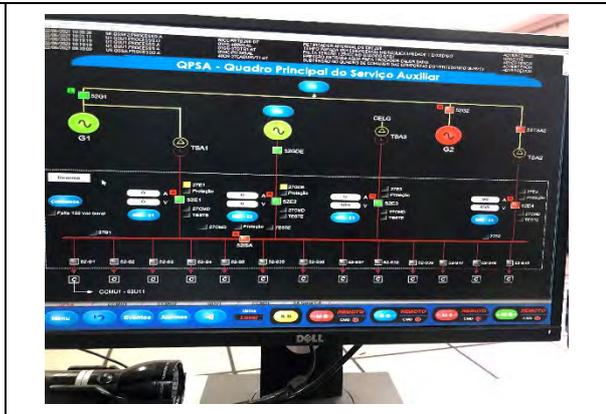
Assim a avaliação operacional dos sistemas e equipamentos eletromecânicos deve ser feita com base em duas abordagens, a primeira na observação funcional, com a visibilidade da condição nesse momento. A segunda abordagem é executada com base na avaliação das instruções e registros, permitindo uma avaliação da perspectiva futura da condição operacional.

A inspeção em campo, a análise da documentação técnica e dos procedimentos de O&M buscaram cobrir uma avaliação operacional dos sistemas abordados nesse relatório, resultando nas recomendações apresentadas, que devem ser avaliadas quanto a prioridade, amplitude e momento de atendimento em consonância com demais ações planejadas.

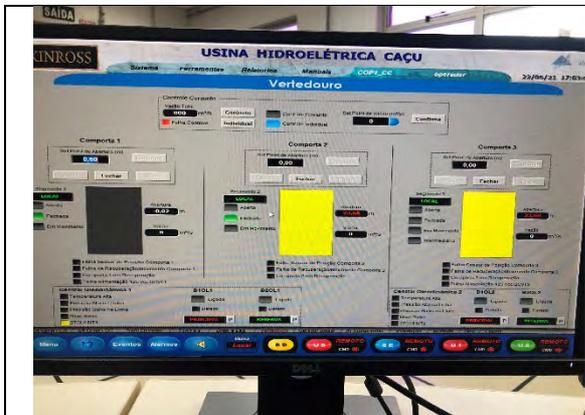
6. RELATÓRIO FOTOGRÁFICO



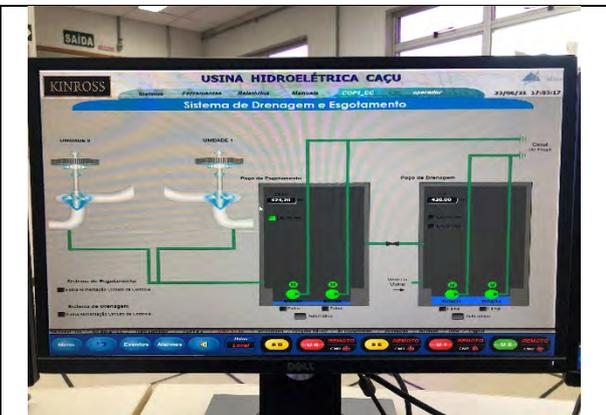
Sala de Controle



SDSC – Tela Principal dos Serviços Auxiliares



SDSC – Supervisão do Vertedouro



SDSC – Supervisão do Sistema de Drenagem



TSA3 – Transformador de Serviços Auxiliares (a óleo) – Localizado na área externa



Quadro de Controle do Gerador Diesel de Emergência



Acesso restrito a sala de retificadores



Sala de Baterias – Carregadores 1 e 2 do Sistema de 125 VCC (principal) e Carregadores 1 e 2 do Sistema 48 VCC (telecomunicação)



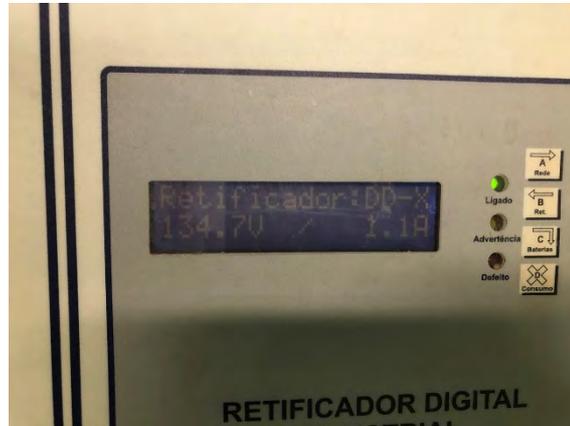
Carregador de Baterias 1 – Alarme de fuga a terra



Carregador de Baterias 1 – Alarme de fuga a terra



Carregador de Baterias 2 – Normal



Carregador de Baterias 2 – Normal



Acesso restrito a sala de baterias



Baterias 125 VCC (Fontes 1 e 2)



QCCG1 – Quadro principal 1 de corrente contínua



QCCG1 – Quadro principal 1 de corrente contínua – Gaveta para alimentação 1 do QCCCF



TSA1 – Transformador de Serviços Auxiliares 1 – Em manutenção periódica em conjunto com a manutenção periódica da UG1



TSA2 – Transformador de Serviços Auxiliares 2



TSA2 – Transformador de Serviços Auxiliares 2
– Em operação



TSA2 – Transformador de Serviços Auxiliares 2
– Em operação – Temperatura Fase C



QCCG2 – Quadro principal 2 de corrente
contínua



QCCG2 – Quadro principal 2 de corrente
contínua – Gaveta para alimentação 2 do
QCCCF



QCCCF – Quadro de Distribuição de 125 VCC das Cargas Gerais



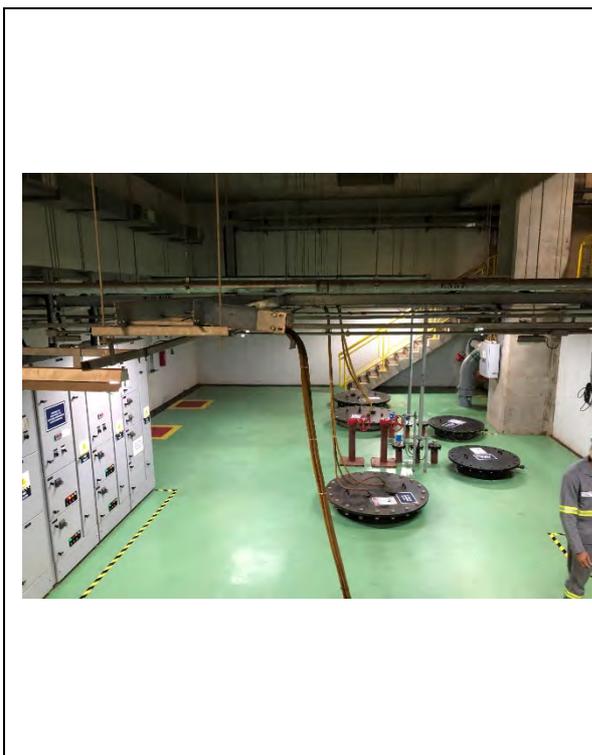
QPSA – Quadro Principal de Serviços Auxiliares



QPSA – Quadro Principal de Serviços Auxiliares – Gaveta para alimentação do Carregador de Baterias 1



QPSA – Quadro Principal de Serviços Auxiliares – Gaveta para alimentação do Carregador de Baterias 2



Vista da elevação acima do poço de drenagem



Tampa do poço de drenagem – passagem do cabeamento da motobomba 1



Tampa do poço de drenagem – passagem do cabeamento da motobomba 2



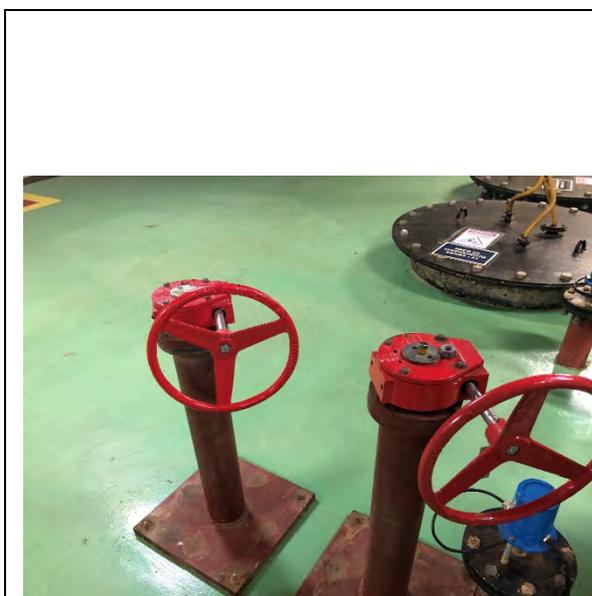
Tampa do poço de esgotamento – passagem do cabeamento da motobomba 1



Tampa do poço de esgotamento – passagem do cabeamento da motobomba 2



Sondas de medição do nível do poço de drenagem – Falta identificação (tags)



Válvulas de interligação dos poços de drenagem e esgotamento



Válvula de interligação dos poços de drenagem e esgotamento – Identificação (tags) presente



CCMDE – Quadro de Comando dos Motores da Drenagem e Esgotamento (CCMDE)



Identificação presente no CCMDE com informações desatualizadas



Medição local (CCMDE) do nível do poço de drenagem



Seletor de operação das motobombas Manual ou Automático
 Seleção do rodízio de motobombas – plaqueta com indicação invertida



Autorizações em curso do operador local com a sala de controle para acionamento manual da motobomba de drenagem



Motobomba desligada



Motobomba ligada



Início dos testes de operação manual da motobomba



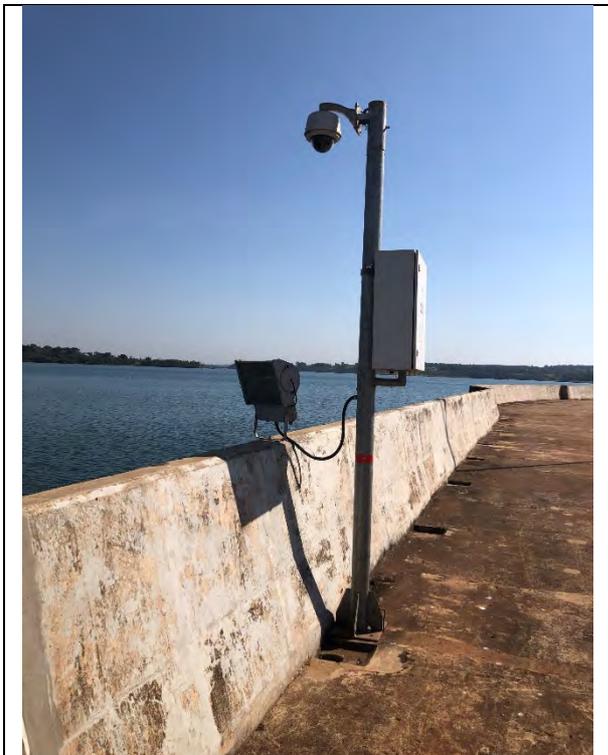
Nível do poço de drenagem reduzindo na operação manual da motobomba



Sistemas de Medições Hidráulicas – Sondas ultrassônicas para medição do nível de jusante



Régua de Medição de nível montante



Câmera para visualização do nível de montante na régua



Sistema de Medições Hidráulicas – IHM local na barragem



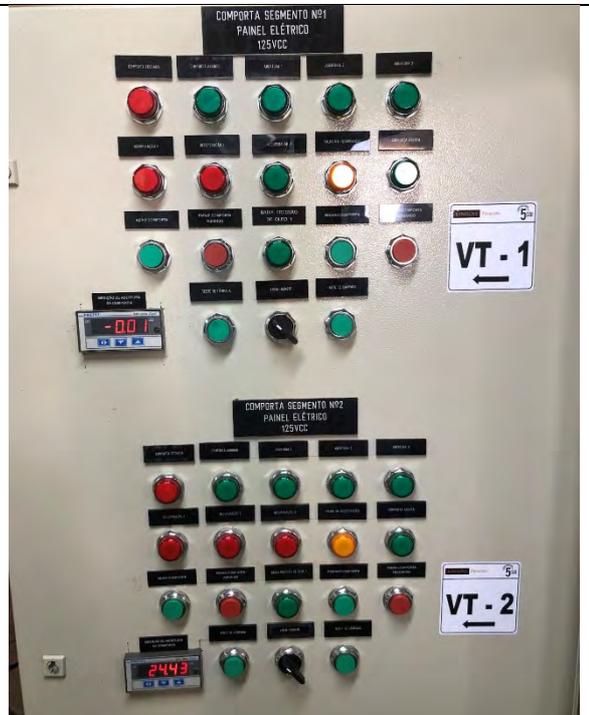
Sistemas de Medições Hidráulicas – Sondas ultrassônicas para medição do nível de montante



Régua de medição da posição da comporta



QUHV1 – Quadro de comando e controle da unidade hidráulica 1 – Comportas 1 e 2



QCVT1 – Quadro de comando e controle das comportas 1 e 2



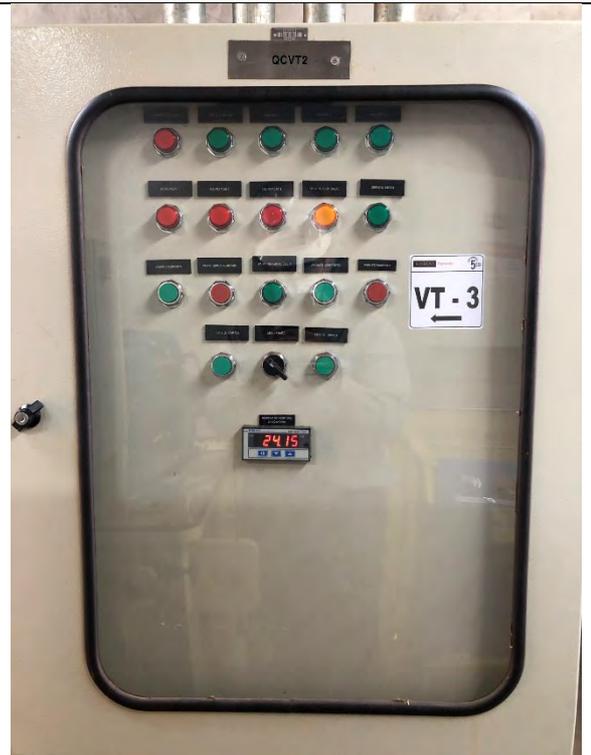
Unidade hidráulica 1 – Comportas 1 e 2



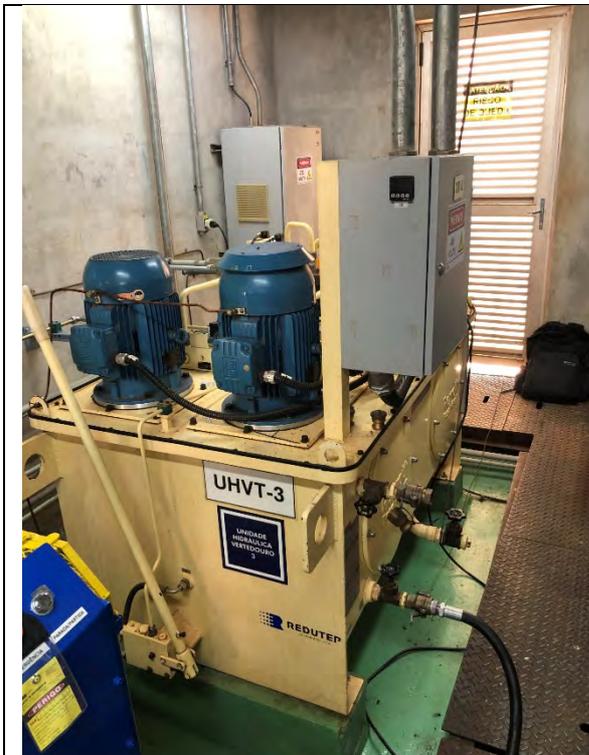
Unidade hidráulica autônoma para uso em emergência no acionamento das comportas 1 e 2 (em testes)



QUHV2 – Quadro de comando e controle da unidade hidráulica 2 – Comporta 3



QCVT2 – Quadro de comando e controle da comporta 3



Unidade hidráulica 2 – Comporta 3



Unidade hidráulica autônoma para uso em emergência no acionamento da comporta 3 (em testes)



QDVT – Quadro de Distribuição de Corrente Alternada do Vertedouro



QDVT – Gaveta para alimentação AC 1 da central hidráulica 1 – Tag aparentemente errado



QDVT – Gaveta para alimentação AC 2 da central hidráulica 1 – Tag aparentemente errado



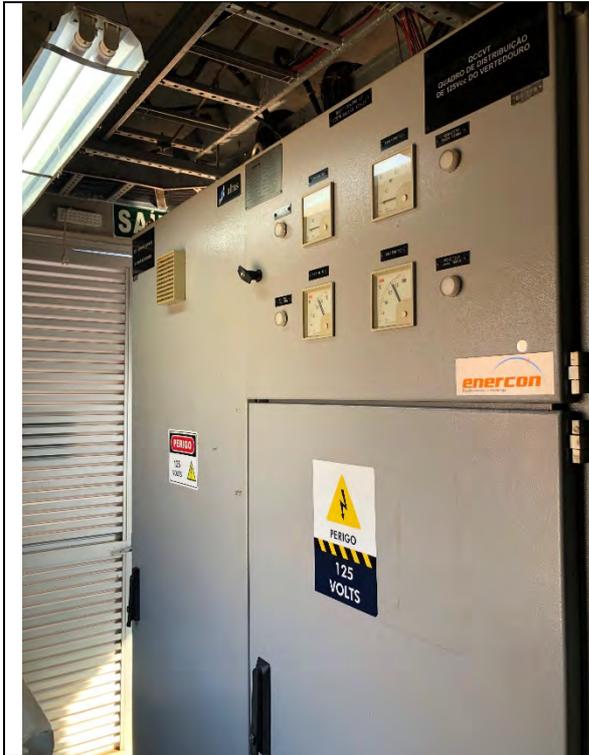
QDVT – Gaveta para alimentação AC 1 da central hidráulica 2 – Tag aparentemente errado



QDVT – Gaveta para alimentação AC 2 da central hidráulica 2 – Tag aparentemente errado



QSVT – Quadro de Supervisão e Controle do Vertedouro – Unidade remota de aquisição de dados



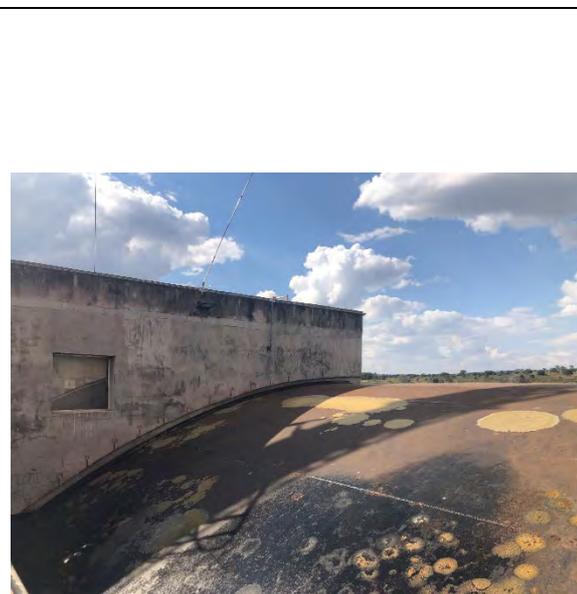
QCCVT – Quadro de Corrente Contínua do Vertedouro



QCCVT – Quadro de Corrente Contínua do Vertedouro – Dupla entrada



Indicador local da temperatura do óleo da central hidráulica – fora de operação



Teste de abertura da comporta 2



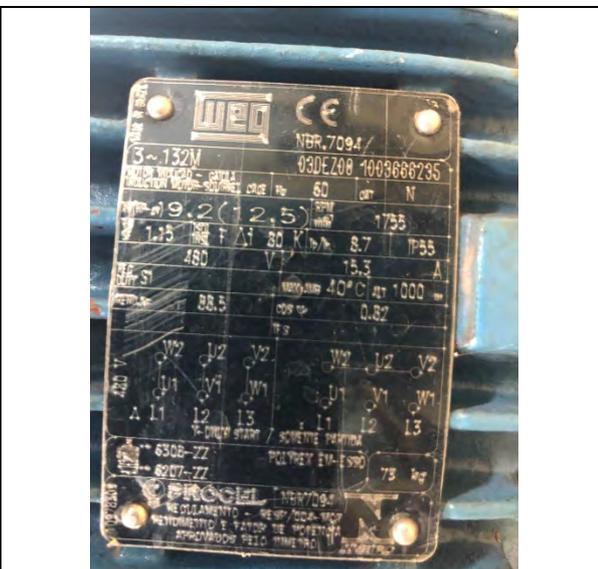
QSVT – Cabos sem anilhas com etiquetas temporárias – Aparentemente da época da construção



QSVT – Cabos sem anilhas com etiquetas temporárias – Aparentemente da época da construção



Motor de uma das bombas da unidade hidráulica



Placa do Motor de uma das bombas da unidade hidráulica – tensão 480 V



Almoxarifado para pequenos itens na casa de força



Almoxarifado para pequenos itens na casa de força



Almoxarifado para pequenos itens na casa de força



Almoxarifado para pequenos itens na casa de força – Local do condicionador de ar

7. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

CÓDIGO	REV.	TÍTULO
DOCUMENTOS OPERACIONAIS		
UHBC-MOP	3	MANUAL DE OPERAÇÃO - UHE CAÇU
600-MOPH-xxxx	A	MANUAL DE OPERAÇÃO HIDRÁULICA
1027/CF-50-DU-0501	2	DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO
--x--x--	--x--	PLANO DE CONTINGÊNCIA ESPECÍFICO (APROVADO EM 22/03/2016)
PCO	0	PLANO DE CONTINGÊNCIA GERAL
IT-O&M-006	1	INSTRUÇÃO DE OPERAÇÃO – MANOBRA NO VERTEDOIRO NA FALTA DE VAZÃO AFLUENTE
MÓDULO IV	1	SISTEMA DE DRENAGEM E ESGOTAMENTO
--x--x--	--x--	TABELA DE PLANOS DE MANUTENÇÃO (Planejamento da Manutenção)
--x--x--	--x--	ORDENS DE SERVIÇO PLANEJADAS PARA OS SISTEMAS CONTEMPLANDO AS ATIVIDADES A SEREM REALIZADAS
--x--x--	--x--	RELATÓRIO DA MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS HIDROMECAÑICOS PARA GARANTIA DA SEGURANÇA OPERACIONAL DE BARRAGENS – UHE BCO E CAÇU
--x--x--	--x--	RELATÓRIO DO RETROFIT DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE NÍVEL E ABERTURA DAS COMPORTAS SEGMENTO DO VERTEDOIRO
SERVIÇOS AUXILIARES		
1027/US-5R-DU-0500	0	USINA – SERVIÇOS AUXILIARES DE CA – DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO
1027/US-5R-DU-0501	0	USINA – SERVIÇOS AUXILIARES DE CA – CONEXÃO CELG – DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO
1027/US-5S-DU-0500	0	USINA – SERVIÇOS AUXILIARES DE CORRENTE CONTÍNUA – DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO
1027/02-5R-DE-0402	0	GRUPO GERADOR DIESEL DE EMERGÊNCIA - PLACA DE CARACTERÍSTICAS
1027/02-5R-DE-0601	1A	QUADROS DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CA - QUADRO PRINCIPAL - QPSA - PROJETO ELETROMECAÑICO
1027/02-5R-MA-0601	0A	CASA DE FORÇA - QUADROS DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CA E CC - MANUAL DE MONTAGEM OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO – QPSA
1027/CF-5R-DU-0500	0	QUADROS DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CA - QUADRO PRINCIPAL - QPSA - DIAGRAMA UNIFILAR - PARTE 1
1027/CF-5R-DU-0501	0	QUADROS DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CA - QUADRO PRINCIPAL - QPSA - DIAGRAMA UNIFILAR - PARTE 2
1027/CF-5R-DU-0502	0	QUADROS DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CA - QUADRO PRINCIPAL - QPSA - DIAGRAMA UNIFILAR - PARTE 3
1027/CF-5R-DU-0503	0	QUADROS DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CA - QUADRO PRINCIPAL - QPSA - DIAGRAMA UNIFILAR - PARTE 4
DOCUMENTOS DO VERTEDOIRO		
1027/02-4H-MA-1403	0	VERTEDOIRO – COMPORTA SEGMENTO – MANUAL DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO
1027/02-5S-DE-0611	0	QUADRO DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CC - QUADRO DE SERV. AUX. DE CC DO VERTEDOIRO - QCCVT - PROJETO ELETROMECAÑICO
1027/VT-5S-DU-0500	0	SERVIÇOS AUXILIARES DE CORRENTE CONTÍNUA – QUADRO QCCVT – DIAGRAMA UNIFILAR
1027/VT-5R-DU-0500	0	VERTEDOIRO – SERVIÇOS AUXILIARES DE CA – QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DO VERTEDOIRO – QDVT – UNIFILAR 1

CÓDIGO	REV.	TÍTULO
1027/VT-5R-DU-0501	0	VERTEDOIRO – SERVIÇOS AUXILIARES DE CA – QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DO VERTEDOIRO – QDVT – UNIFILAR 2
1027/02-4H-DE-1410	0	VERTEDOIRO – COMPORTA SEGMENTO – ESQUEMA ELÉTRICO – PAINEL DE COMANDO E CONTROLE DA COMPORTA Nº 1
1027/02-4H-DE-1411	0	VERTEDOIRO – COMPORTA SEGMENTO – ESQUEMA ELÉTRICO – PAINEL DE COMANDO E CONTROLE DA COMPORTA Nº 2
1027/02-4H-DE-1412	0	VERTEDOIRO – COMPORTA SEGMENTO – ESQUEMA ELÉTRICO – PAINEL DE COMANDO E CONTROLE DA COMPORTA Nº 3
--x--x--	--x--	MANUTENÇÃO DAS UNIDADES HIDRÁULICAS (INFORMAÇÕES CONTIDAS NO RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO DA UHE BARRA DOS COQUEIROS, ARQUIVO MANUTENÇÃO COMPORTA SEGMENTO 02_BCO_06012020_GC.pptx
1027/02-4H-DE-1413	0	VERTEDOIRO – COMPORTA SEGMENTO – ESQUEMA ELÉTRICO – PAINEL DA UNIDADE HIDRÁULICA (COMPORTAS 1 e 2)
1027/02-4H-DE-1414	0	VERTEDOIRO – COMPORTA SEGMENTO – ESQUEMA ELÉTRICO – PAINEL DA UNIDADE HIDRÁULICA (COMPORTA 3)
1027/02-4H-DE-1416	0	VERTEDOIRO – COMPORTA SEGMENTO – ACIONAMENTO HIDRÁULICO – DIAGRAMA HIDRÁULICO (COMPORTAS 1 e 2)
1027/02-4H-DE-1417	0	VERTEDOIRO - COMPORTA SEGMENTO - ACIONAMENTO HIDRÁULICO - UNIDADE HIDRÁULICA (COMPORTA 1 E 2)
1027/02-4H-DE-1422	0	VERTEDOIRO - COMPORTA SEGMENTO - ACIONAMENTO HIDRÁULICO - ESQUEMA HIDRÁULICO (COMPORTA 3)
1027/02-4H-DE-1423	0	VERTEDOIRO - COMPORTA SEGMENTO - ACIONAMENTO HIDRÁULICO - UNIDADE HIDRÁULICA (COMPORTA 3)
1027/02-4H-DE-1426	0	VERTEDOIRO – COMPORTA SEGMENTO – ACIONAMENTO HIDRÁULICO (COMPORTAS 1 E 2) – DESCRITIVO FUNCIONAL
1027/02-4H-DE-1427	0	VERTEDOIRO – COMPORTA SEGMENTO – ACIONAMENTO HIDRÁULICO (COMPORTA 3) – DESCRITIVO FUNCIONAL
1027/02-4H-DE-1451	0	VERTEDOIRO – COMPORTA SEGMENTO – INSTALAÇÃO ELÉTRICA
SISTEMA DE DRENAGEM		
1027/CF-4I-DE-0003	2	CASA DE FORÇA - SISTEMA DE DRENAGEM – FLUXOGRAMA
1027/CF-4I-RL-0003	1A	CASA DE FORÇA – SISTEMA DE DRENAGEM – RELATÓRIO TÉCNICO: CRITÉRIOS – DESCRIÇÃO – DIMENSIONAMENTO
1027/CF-4I-DE-0002	2	CASA DE FORÇA - SISTEMA DE ESGOTAMENTO E ENCHIMENTO – FLUXOGRAMA
1027/CF-4I-RL-0002	1A	CASA DE FORÇA - SISTEMA DE ESGOTAMENTO E ENCHIMENTO - RELATÓRIO TÉCNICO - CRITÉRIOS - DESCRIÇÃO – DIMENSIONAMENTO
1027/CF-5R-DU-0510	0	CASA DE FORÇA - SERVIÇOS AUXILIARES DE CA - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES DO SIST. DE DRENAGEM E ESGOTAMENTO - DIAGRAMA UNIFILAR - PARTE 1

CÓDIGO	REV.	TÍTULO
1027/CF-5R-DU-0511	0	CASA DE FORÇA - SERVIÇOS AUXILIARES DE CA - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES DO SIST. DE DRENAGEM E ESGOTAMENTO - DIAGRAMA UNIFILAR - PARTE 2
1027/02-5R-DE-0606	0A	CASA DE FORÇA - QUADROS DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CA E CC - PROJETO ELETROMECÂNICO - QCCG1
1027/02-5R-DE-0607	0A	CASA DE FORÇA - QUADROS DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CA E CC - PROJETO ELETROMECÂNICO - QCCG2
1027/02-R5-DE-0610	0A	CASA DE FORÇA - QUADROS DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CA E CC - PROJETO ELETROMECÂNICO - QCCCF
1027/CF-5S-DU-0500	0	SERVIÇOS AUXILIARES DE CORRENTE CONTÍNUA - QUADRO QCCG1 - DIAGRAMA UNIFILAR
1027/CF-5S-DU-0501	0D	SERVIÇOS AUXILIARES DE CORRENTE CONTÍNUA - QUADRO QCCG2 - DIAGRAMA UNIFILAR
1027/CF-5S-DU-0504	0D	SERVIÇOS AUXILIARES DE CORRENTE CONTÍNUA - QUADRO QCCCF - DIAGRAMA UNIFILAR

O seguinte documento específico sobre a segurança de barragem foi considerado:

- Fiscalização de Segurança da Barragem da UHE Caçu - Conclusão da Ação Presencial. Processo nº: 48500.002803/2011-55 – OFÍCIO nº 588/2019-SFG/ANEEL. Para a avaliação foram considerados normativas existentes, em especial:
- Manual do empreendedor sobre Segurança de Barragens – Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragens – Agência Nacional de Águas;
- NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão;
- Procedimento de Rede do ONS – Submódulo 2.5 – Critérios para Operação;
- Procedimento de Rede do ONS – Submódulo 5.5 – Operação Hidráulica de Reservatórios.

Anexo A – Memória de Cálculo

Estimativa de Tempo Limite para Manutenção nas Comportas

Dados básicos

Cota normal	m	477,00
Cota limite	m	479,00
Volume do reservatório na cota normal	hm ³	227,45
Volume do reservatório na cota limite	hm ³	262,90
Variação do volume	hm ³	35,45
Variação do volume	m ³	35.452.408

Tempo máximo até a cota limite na vazão da decamilenar e sem geração

Vazão decamilenar	m ³ /s	2.176
Tempo para cota limite	min	272

Tempo máximo até a cota limite na vazão da decamilenar com as duas unidades geradoras em operação

Vazão decamilenar	m ³ /s	2.176
Vazão unitária turbinada	m ³ /s	140,51
Vazão para enchimento	m ³ /s	1.895
Tempo para cota limite	min	312

Tempo máximo até a cota limite na máxima vazão da série histórica e sem geração

Vazão máxima série histórica 1931-2016	m ³ /s	590
Tempo para cota limite	min	1001

Tempo máximo até a cota limite na máxima vazão da série histórica e com as duas unidades geradoras em operação

Vazão máxima série histórica 1931-2016	m ³ /s	590
Vazão unitária turbinada	m ³ /s	140,51
Vazão para enchimento	m ³ /s	309
Tempo para cota limite	min	1912

Fonte das informações

RELATÓRIO FINAL DO PROJETO BÁSICO - Documento 8958-00-10-RL-0001, revisão C

SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÕES DAS USINAS HIDRELÉTRICAS 1931 - 2018, ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO



356789:& ;'' 03<30+! 0=, 30 >) 0 &
 + CDEF9& GHI JKL9M& O8K CI @89&
 & ! ?@B:& - CDE69AM& & E@K J&C& M J8CK &J& JEJ&
 6C& 9MU&&' >) &
 OP87 JE&) &C& * & , K 7EEF9:&) Q') (> &



!

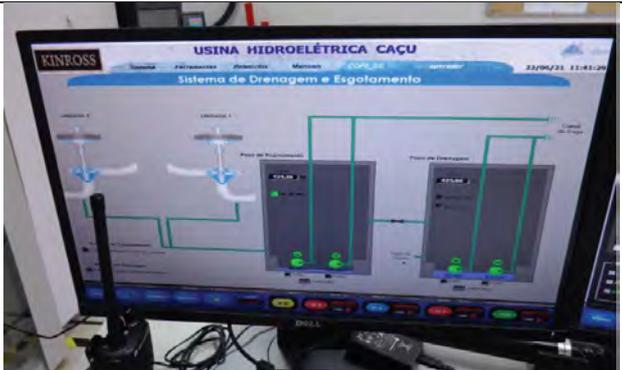
"# \$%&'(!

? 20! ' @ A&2 BC9 [REDACTED]
 D E9 AEF7 @G' @%%' E9 H' A(2 BG' @ [REDACTED]
 5F 3 GH3; I JK\$J [REDACTED]
 5F F J*J/ \$4 " !L\$!L M\$H" 2 \$4 ! [REDACTED]
 5F F5 3 G4 AGM " !J\$2 4 \$H/ G!L G!0\$M/ \$L GI MG [REDACTED]
 5F5 M\$3 G4 \$HL " OK\$J! [REDACTED]
 5F5F J*J/ \$4 " !L\$!L M\$H" 2 \$4 ! [REDACTED]
 5F5F5 3 G4 AGM " !J\$2 4 \$H/ G!L G!0\$M/ \$L GI MG [REDACTED]
 I ! ' F2 &J! 8 %&KEA&E9 LM9 &9 N! OM&E9 [REDACTED]
 NF 3 " J " !L\$!QGMO" !RJ*J/ \$4 " !L\$!L M\$H" 2 \$4 ! [REDACTED]
 NF5 0\$M/ \$L GI MG!R3 G4 AGM " !J\$2 4 \$H/ G! [REDACTED]
 Q R&RF&N! 2 M&E [REDACTED]
 20SA(&E' @ [REDACTED]
 !



===3@BCDEF3GH3 ?
 ACE&GJ >@BCDEF3GH3 #K<MNO<1,*<PP#
) CDE&S SE?@B4 DE #3 1+UTTM\$

#+, - / %&



: , !, \$() \$! % - 8 % \$ / , \$ 8 , 0 , \$ / " \$ / * " . % 6 " - \$ = \$
4 " . ! 4 4 % 0 5 , \$, 2 \$ + % & , 2 \$ " \$. " * 6 4 / \$ " \$
% 4 " . ! % 0 5 , \$ % 2 \$, ! , & , - & %) \$

: , !, \$ 7) \$ - , . 4 , * \$. % \$ 2 % % \$ / " \$ + , - % / , \$ " - \$
& 2 " * 3 % 0 5 , \$ + , . 2 ! % ! " \$ / % \$, 8 " * % 0 5 , \$ / , \$
8 , 0 , \$ / " \$ / * " . % 6 " - \$ 8 " " , 2 \$, 8 " * % / , * " 2 \$ / % \$
9 2 4 %) \$

NF5! 0\$M \$LGI MGR!R3G4 AGW " !J\$24 \$H/ G!

JBV] B! - [- &) !) ! = B - S = & ! \$ J , + &) 1 \$ \$ V = W &) Z [B % ! ,) %) ! - . V] % - ' ! = B ,) % B + C - ? \ B ' ! B!
) [' B - > - ? \ B ' ! <) + \$ - & ! C ! '] B ! \$ & [' B - > - C) ! + - ' ! ,) % <) = S ' ! B V % B + \$! C ! > B = B C) =] F



: , !, \$) \$ " * ! " / , 9 * , \$ \$, - 8 , * ! % \$ 2 " 6 - " . ! , = \$! " * " 4 % 0 5 , \$ 4 * ? 9 ' 4 % \$, - \$ @ % 0 5 , \$

!



:, !, \$A\$3"*!"/, 9*, =+, - 8, *!%\$2"6- ".!, \$=\$4 8'" - ".!%0%, \$/, \$., 3, \$24!" - %\$/ "\$
 4 / 4%/d, * \$ "\$, 24%, \$4 2!*9- ".!, \$2". /, \$4 2!%' /d, \$

!



:, !, \$C\$3"*!"/, 9*, \$=\$+, - 8, *!%\$2"6- ".!, \$=\$84 !9*%%!4, **, 24%\$=\$, @! %05, \$. %\$
 "2! * 9!9* %/\$ "+"224 %\$2"* \$ "84 !/d %\$B% %\$, **"05, \$ %\$*, !"05,)\$

!



356789:& ; ' ' 03 < 30+! 0= , 30 >) 0 &
 + CDEF9& GHI JKL& 9K L9M@& C8K CI @89&
 & ! ?@B:& - C@69A@& & 7@K J&C& M J8CK &J& JEJ&
 6C& 9MU&& ' >) &
 OP87 JE&) > &C& * & , K 7EF9:&) Q') (> &



!
 * +>- 5'2," !

20SA(E' %H2A7@ B B&! 2A@9! &' % %! H2c' A2N' H% 2@1' (2BG' @02! 2%
 E9H09! &2@%



Boletim Técnico nº 012.05/02

Manuseio, Transporte e Armazenagem das Vedações para Comportas

Assim como outros materiais, as vedações de borracha precisam ser manuseadas com cuidado, respeitando-se algumas recomendações básicas para evitar o envelhecimento precoce do elastômero ou mesmo a perda de função prematura do artefato, especialmente quando revestidas com películas de PTFE (Teflon®).

A exposição por longos períodos a condições agressivas como luz direta do sol, calor (gerado nos armazéns por empilhamento), dobras, vincos, proximidade a fontes geradoras de ozônio, contato com produtos químicos (tintas, solventes, cal, concreto), etc. podem diminuir a vida útil da vedação de comporta ou alterar suas características (endurecimento, contração, deformação, etc).

Assim sendo, apresentamos algumas recomendações de manuseio, transporte e estocagem das vedações de borracha para comporta:

- As vedações sem revestimento de PTFE podem ser transportadas enroladas. Entretanto, se o período de estocagem for maior que 02 (dois) meses, recomenda-se que sejam mantidas estiradas;
- As vedações revestidas com película de PTFE devem, preferencialmente, ser transportadas estiradas. As peças muito longas podem ser enroladas, desde que respeitado um raio mínimo de 500 mm. Desenrolar para armazenamento prolongado;
- No enrolamento das vedações com PTFE, a face com a película deverá ficar voltada para o lado externo do rolo, uma vez que o enrolamento ao contrário provocará o enrugamento permanente do PTFE;
- No manuseio das vedações com PTFE, evitar curvatura acentuada no sentido da película (ou seja, face com película voltada para dentro da curvatura). Para manusear peças longas, estas devem estar apoiadas a cada metro;
- Nunca tracionar peças com PTFE, pois por se tratar de um plástico, a película não apresenta a mesma elasticidade da borracha e estará sujeita a um escoamento plástico que danificará severamente o revestimento;
- A borracha apresenta tendência de "escoar" sob ação de uma força de deformação ("creep"/"relaxação"). Assim, se a vedação for mantida dobrada (ou seja, sob tensão), ficará com uma "memória" dessa deformação mesmo depois de estirada. Portanto, a vedação de borracha não deverá ser dobrada no armazenamento.
- O PTFE (politetrafluoretileno) é um plástico de engenharia de baixa reatividade química e praticamente não é afetado pelo oxigênio, ozônio ou luz ultra violeta. Entretanto, ensaios de laboratório e referências históricas sugerem que os produtos químicos do sistema de adesão PTFE/borracha são afetados pelos raios do sol – UV – em exposição contínua e prolongada (período maior que um ano). Assim sendo, para prevenir o descolamento da película de PTFE, recomenda-se evitar sua exposição aos raios solares;
- O aparecimento de uma fina camada esbranquiçada ou marrom sobre a vedação durante o armazenamento é um fenômeno natural do sistema de proteção da borracha contra o ozônio e não afeta as características gerais do artefato.

Elaborado por Amauri da Paixão Santos (Quím.Resp.) / Renato Menghini (Depº Técnico)

Rua Antônio Mulatti, 32 - Vila das Belezas
 05841-110 - São Paulo - SP - Brasil
 Fone / Fax : (011) 5511-2055
 e-mail: rubberart@rubberart.com.br



3 56789:& ; ' ' 03 <3 0+! 0= , 3 0 >) 0 &
 + CDEF9& CGHI TJKL& 9K L9M& C8K CI @89&
 & ! ?@9:& - CDE69A0&& T@K J&C& M J8CK KJ& JEJ&
 6C& 9MU&&' >) &
 OP87 JE&) * K& * & , K TEF9:&) Q') (>)&



!
 %
 20SA(8' %D%0F2A9 % ' %! 2 R2 FW0 %2! 2 % @/2 (' 6 7 2 BG' @/A2 @/ % @! 7 &7! 2 @/
 H' EdA&E2 @/9 % ' ! & (9 7! 9 % %A1& (9 % H %D?D?D?%

Tuesday, January 18, 2022 at 14:49:55 Brasilia Standard Time

Assunto: RES: Relatórios da Revisão Eletromecânica [projeto 600/615]
Data: quarta-feira, 22 de dezembro de 2021 08:24:08 Horário Padrão de Brasília
De: Luciano Zanoni
Para: Giorgia Moecke
CC: Clesio Lira, Juliana D'Amoreira, Wendell Lima, Andre Martinussi (KINROSS BRASIL MINERAÇÃO S/A)
Anexos: image001.png, image032.jpg, image033.jpg, image034.png, image035.jpg, image036.png, image037.png, image038.png, image039.png, image040.jpg, image041.png, image042.png, image043.png, image044.png, image045.png, image046.png, image047.jpg, image048.png, image049.png, image050.png, image007.jpg, image008.png, image009.png, image010.png

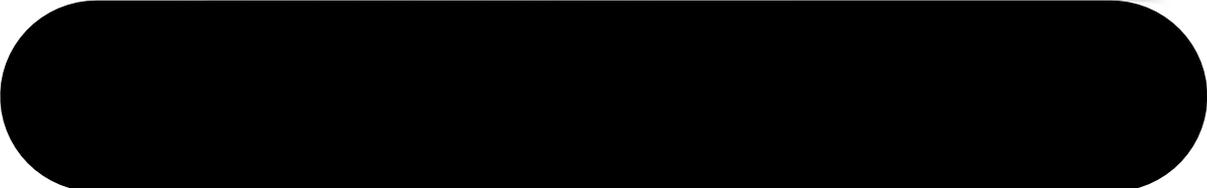
Bom dia Giorgia,

Nosso planejamento para trabalhos nos vertedouros é:

- 2021 – Conclusão do reprojeto das tubulações de acionamento dos vertedouros – (Concluído para Caçu e BCO);
- 2022 – Início da revitalização, com 1 comporta do VT de Caçu;
- 2023- Revitalização segunda comporta do VT de Caçu;
- 2024 – Revitalização terceira comporta do VT de Caçu;
- 2025 – Revitalização primeira comporta de BCO;
- 2026 – Revitalização segunda comporta de BCO;
- 2027 – Revitalização terceira comporta de BCO;

At.te,

Luciano Zanoni



FRACTAL ENGENHARIA

Luciano, bom dia

Com relação as intervenções nos vertedouros, vocês poderiam nos encaminhar o plano de ação/trabalho ?
 Os consultores gostariam de anexar essas informações nos relatórios finais.

Qualquer dúvida, fico à disposição.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	RESUMO DE RESULTADOS	4
3	NÍVEL DE REFERÊNCIA	5
4	METODOLOGIA	6
5	RESULTADOS	9
5.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA	9
5.1.1	Extensômetro de Haste – EH	9
5.1.2	Nível d'Água – NA.....	10
5.1.3	Medidor de Vazão – MV.....	10
5.1.4	Medidor Triortogonal de Junta – MT.....	12
5.1.5	Piezômetro de Tubo – PZ	13
6	CONCLUSÃO	19
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
8	ANEXOS	21

1 INTRODUÇÃO

O presente documento se trata de uma atualização dos estudos estatísticos apresentados em 2021 para a UHE Caçu (600-CAC-RT-LIM-001-1). Nesta etapa, foram consideradas as atualizações das cotas de topo dos Piezômetros de Tubo (PZ) e Medidores de Nível d'Água (NA). Ainda, foram adotadas melhorias nos procedimentos de exclusão de outliers das séries de dados, e das correlações com os níveis de montante e jusante. As séries foram avaliadas para o período entre JAN19 e JAN22, contemplando as leituras mais atuais dos instrumentos, dadas as incertezas em alguns períodos de medição.

Para o presente estudo buscou-se estabelecer faixas de variação dentro das quais as medidas dos instrumentos poderão ser consideradas historicamente coerentes. De acordo com Juliano et al. (2005), essas faixas são determinadas com uso de técnicas estatísticas aplicadas à série histórica de cada instrumento. O resultado é a determinação de valores de referência para cada instrumento, tidos como média, desvio-padrão e níveis de referência superior e inferior.

Assim, quando a medida de um instrumento extrapolar o valor de referência superior ou inferior, será sinal de que possa estar ocorrendo erros na medição ou de que alguma patologia possa estar se desenvolvendo na estrutura. Geralmente os limites estatísticos estão abaixo dos limites de projeto e devem ser interpretados **como mais uma camada de segurança na análise da instrumentação, sendo relacionados aos limites de normalidade histórica da série temporal, e não aos limites de alerta e/ou projeto.**

No Quadro 1 estão resumidos os instrumentos selecionados para análise estatística na barragem Caçu, que foram empregados nas análises estatísticas, conforme disponibilidade de dados.

QUADRO 1. TIPO E QUANTIDADE DE INSTRUMENTOS ANALISADOS POR TIPO DE ESTRUTURA.

Sigla	Tipo	Quantidade	
		Estruturas de Terra	Estruturas de Concreto
EH	Extensômetro de Haste	-	5
NA	Medidor de Nível d'Água	2	-
MV	Medidor de Vazão	3	10
MT	Medidor Triortogonal de Junta	-	11
PZ	Piezômetro de Tubo	48	39
Quantidade total por tipo de estrutura		53	65

A análise estatística para a instrumentação da UHE Caçu cobriu um total de 118 instrumentos de auscultação. Os instrumentos elegíveis para a análise foram determinados por terem dados válidos numa amostragem superior a 30 elementos.

Ressalta-se que este estudo representa uma fotografia do estado atual da instrumentação, sendo a análise do comportamento dos dados apresentada a parte, nos relatórios mensais de auscultação da UHE Caçu.

2 RESUMO DE RESULTADOS

O presente estudo é uma análise estatística das séries históricas dos instrumentos com mais de 30 leituras da UHE Caçu.

O estudo definiu:

- NRS – Nível de Referência Superior estatístico;
- NRI – Nível de Referência Inferior estatístico;
- Verificação de consistência das séries com classificação em “simétrico” ou “assimétrico”;
- Análise de comportamento em termos de presença de tendências (i.e., tendência de aumento de pressão num PZ ou abertura de junta indicado num MT, entre outros);
- Verificação para os PZs, NAs e MVs correlação de ação dos níveis de montante e jusante na reposta dos instrumentos.

Indicação de uso dos resultados obtidos:

- Gestores e técnicos envolvidos na gestão da segurança de barragens devem usar os níveis de referência como indicadores de qualidade, como uma primeira camada de segurança antecedente a uma condição de maior gravidade;
- Introduzir no procedimento de RVA a listagem desses instrumentos relacionados à resposta linear entre níveis de montante e jusante:
 - O próximo ISR/RVA (600-CAC-RT-RVA-ABR-22) deverá contemplar esses resultados na análise de comportamento da instrumentação e reconhecimento do nível de segurança das estruturas associadas.
- Avaliar instrumentos elegíveis para automatização seguido de validação de especialista em segurança de barragens:
 - Indicação: instrumentos com correlação linear com nível de montante ou jusante.
- Revisar os níveis de atenção e alertar de instrumentos nos casos onde o NRS é maior:
 - ‘MV-114’ e ‘MV-115’;
 - ‘PZ-03’, ‘PZ-202’, ‘PZ-214’, ‘PZ-215’, ‘PZ-221’, ‘PZ-222’ e ‘PZ-224’;

A Fractal Engenharia, responsável pelas atividades de segurança de barragens da Kinross para a UHE Caçu, operacionalizará os resultados do presente estudo nos procedimentos de análise e controle da instrumentação. Nessas análises serão adotados os valores de referência (NRS/NRI) apresentados neste documento além dos comentários dispostos na Tabela 1.

TABELA 1. RESULTADOS DAS ANÁLISES POR INSTRUMENTO.

INSTRUMENTOS	CONCLUSÕES
EHS.	'EH-103' e 'EH-105' indicaram assimetria por mudança de patamar, evento anormal ou erro de leitura. O comportamento do 'EH-103' decorre de uma translação, observada nas duas hastes, possivelmente por movimentação no cabeçote. A H2 do 'EH-105' apresenta deformações sempre muito próximas à 0, com pequenas movimentações sazonais tidas como normais.
NAs.	A análise de simetria da primeira derivada das séries temporais indica que os dados são simétricos. 'NA-201' indica correlação linear com nível de montante do reservatório e tendência de aumento do nível d'água de 1 cm por leitura. A situação tem sido acompanhada no relatório mensal de validação de instrumentação. 'NA-01' não foi avaliado em função das influências de pluviometria que o instrumento vem apresentando desde outubro de 2020. O instrumento está sendo alvo de estudo para reinstrumentação.
MVs.	Todas as séries indicam simetria. 'MV-115' indica discrepância entre NRS e o limite existente.
MTs.	Todas as séries indicam simetria.
PZs Barragem de Terra.	'PZ-202' indicou assimetria por mudança de patamar, evento anormal ou erro de leitura. O comportamento do 'PZ-202' foi estudado após elevação dos níveis em outubro de 2020. Assim a assimetria pode ser considerada real
PZs Barragem de Concreto.	'PZ-102', 'PZ-103', 'PZ-106', 'PZ-110', 'PZ-112', 'PZ-127', 'PZ-128' e 'PZ-131' indicam assimetria por mudança de patamar, evento anormal ou erro de leitura. Os 'PZ-102', 'PZ-103', 'PZ-112', 'PZ-127', 'PZ-128' e 'PZ-106' apresentam assimetria em função de testes de perda d'água realizados em junho de 2020. O 'PZ-110' se encontra obstruído, não sendo utilizado nas análises mensais.

3 NÍVEL DE REFERÊNCIA

A análise de variáveis de estado que representam o comportamento das estruturas civis de uma barragem, terra/enrocamento e concreto, é fundamentada no modelo de distribuição Normal, para determinar a probabilidade de um valor ser superior/inferior a um determinado limite imposto ou mesmo impor uma probabilidade e calcular seu limite.

Para séries históricas com amostragem superior a 30 elementos, Montgomery & Runger (1991) colocam que o modelo Normal pode ser empregado se a amostra estiver adequada ao comportamento Normal.

Juliano et al. (2005) tratam do conceito de “Valores de Referência” através de graus de confiança e intervalos de aceitação e rejeição para instrumentos de auscultação das barragens da CESP, partindo da premissa que se os valores medidos pelos mesmos instrumentos permanecem variando dentro de uma determinada faixa, o comportamento das estruturas permanecerá dentro da normalidade.

O presente estudo é baseado no uso do intervalo de 3 desvios padrões para determinação de Níveis de Referência, que segundo Montgomery & Runger (1991), determina a área em totalidade da distribuição Normal. De acordo com as características de comportamento de pressões e movimentos, variações abruptas não são esperadas com frequência, mas sim oscilações suaves com característica normal no entorno da média.

4 METODOLOGIA

Definido o conceito de Valor de Referência ou Nível de Referência, as séries históricas dos instrumentos são submetidos a procedimentos de análise de dados no sistema de gestão integrada de riscos, da Fractal Engenharia, o qual conta com uma inteligência de algoritmos para consistência de dados e análises estatísticas, para fins de segurança de barragens.

O objetivo do sistema é desenvolver análises em séries temporais para extrair limites de referência, baseados nos Níveis de Referência provenientes das características históricas da série temporal.

Na Figura 1 está ilustrado o fluxograma de funcionamento do sistema de gestão integrada de riscos.

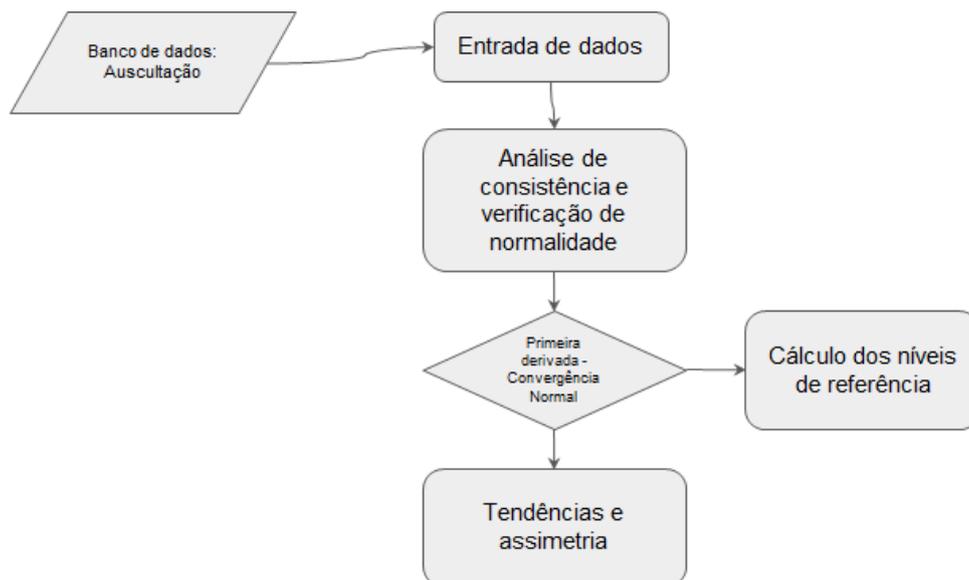


FIGURA 1. FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADA DE RISCO.

No sistema, a análise inicia-se com a consulta dos dados históricos da auscultação e dos níveis d'água do reservatório, e caso exista, níveis de projeto estabelecidos em função

de estudos de estabilidade das estruturas. Falhas nos registros, como falta de dados ou existência de valores abruptos de padrão aleatório, são previamente analisados e descartados.

A inteligência computacional do sistema de gestão integrada de riscos aplica momentos estatísticos centrados e modelo de regressão linear para determinar a convergência da amostra à distribuição Normal. No caso de convergência, os momentos estatísticos ajustam nos intervalos de normalidade, não sendo utilizado o modelo linear. No caso de não convergência, os momentos estatísticos não ajustam nos intervalos de normalidade e o modelo linear é empregado para determinar a tendência do comportamento da série temporal, em termos de aceleração crescente ou decrescente. Tal aceleração pode representar, dependendo do instrumento, variações de pressão, movimentos e volumes de fuga d'água.

Partindo da premissa que a série histórica de medidas dos instrumentos segue uma distribuição normal, em caso de convergência dos momentos estatísticos, os Níveis de Referência Superior e Inferior são determinados pelos extremos da distribuição Normal, compreendendo a área de curva entre os 3^{os} desvios-padrão (Figura 2).

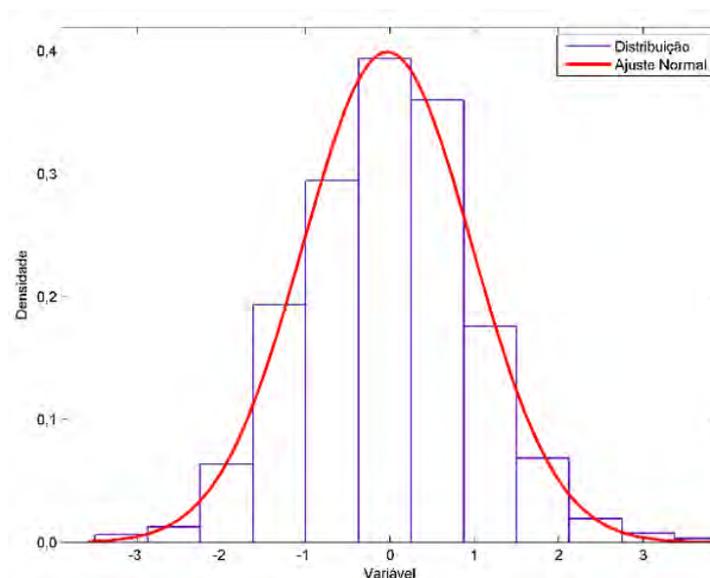


FIGURA 2. DISTRIBUIÇÃO NORMAL.

Quando o comportamento da série temporal do instrumento converge num padrão normal, o sistema compila gráficos com informações de estatísticas de média e Níveis de Referência Superior e Inferior. Na Figura 3 está ilustrado um caso de convergência Normal.

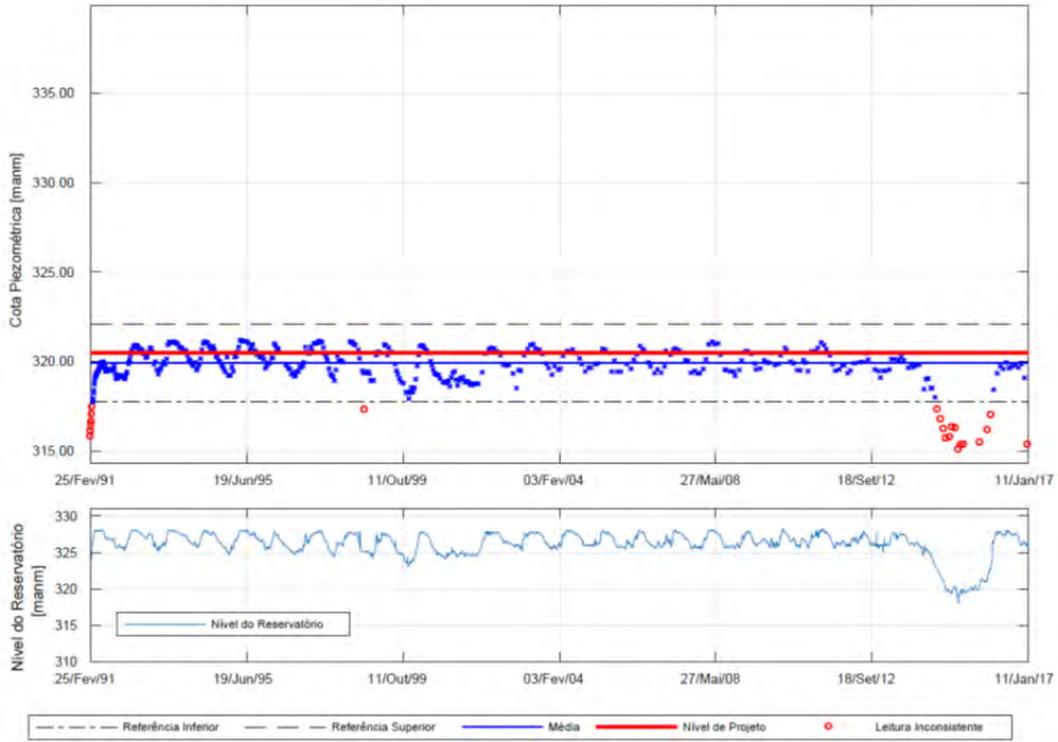


FIGURA 3. AJUSTE NORMAL DE SÉRIE TEMPORAL.

5 RESULTADOS

Os relatórios por instrumentos, de saída do sistema de gestão integrada de risco, estão compilados do ANEXO 1 ao ANEXO 5 deste documento. Nestes relatórios constam os nomes dos instrumentos, gráficos das séries históricas, análises estatísticas e valores estatísticos de referência.

5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O resumo estatístico contempla, para todo o instrumento com séries temporais disponíveis, as seguintes estatísticas:

- Nível de Referência Superior – NRS baseado nas características estatísticas da série temporal; e,
- Nível de Referência Inferior – NRI baseado nas características estatísticas da série temporal.

A análise estatística permite o reconhecimento de padrões, sendo possível avaliar se a série do instrumento possui simetria e tendência de direção. Com análise de simetria é tido que séries temporais simétricas são consistentes e as assimétricas apresentam inconsistências de diferentes ocorrências.

5.1.1 Extensômetro de Haste – EH

Para as análises de limites dos EHs foram utilizadas todas as informações contidas no histórico de dados. Na Tabela 2 estão resumidos os Níveis de Referência obtidos para as Hastes 01 e 02 dos extensômetros.

TABELA 2. RESUMO DO NÍVEIS DE REFERÊNCIA [MM].

Inst.	Informação	NRS H1	NRI H1	NRS H2	NRI H2	Desl. Máx H1	Desl. Máx. H2
EH-101	CF/TA	0,06	0,00	-	-	±1	-
EH-102	CF/TA	0,09	-0,07	-	-	±1	-
EH-103	VT Bloco-1	0,09	-0,37	0,03	-0,24	±2	±3
EH-104	VT Bloco-2	-0,04	-0,19	0,08	-0,01	±2	±3
EH-105	CCR Bloco-6	0,44	-0,09	0,06	-0,19	±2	±3

SINAL [-] INDICA QUE O INSTRUMENTO NÃO POSSUI DADOS DE LEITURA

Abaixo está o resumo da análise estatística.

TABELA 3. RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA.

Inst.	Informação	Consistência H1	Consistência H2	Gráfico
EH-101	CF/TA	Simétrico	-	GRÁFICO 1
EH-102	CF/TA	Simétrico	-	GRÁFICO 2
EH-103	VT Bloco-1	Assimétrico	Assimétrico	GRÁFICO 3
EH-104	VT Bloco-2	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 4
EH-105	CCR Bloco-6	Simétrico	Assimétrico	GRÁFICO 5

COMENTÁRIOS: Janela de análise: JAN2019-JAN2022.

‘EH-103’ e ‘EH-105’ indicaram assimetria por mudança de patamar, evento anormal ou erro de leitura.

O comportamento do ‘EH-103’ decorre de uma translação, observada nas duas hastes, possivelmente por movimentação no cabeçote.

A H2 do ‘EH-105’ apresenta deformações sempre muito próximas à 0, com pequenas movimentações sazonais tidas como normais.

5.1.2 Nível d’Água – NA

Para as análises de limites dos NAs foram utilizadas todas as informações contidas no histórico de dados. Na Tabela 4 estão resumidos os Níveis de Referência obtidos.

TABELA 4. RESUMO DO NÍVEIS DE REFERÊNCIA [M].

Instrumento	Informações	NRS	NRI	Atenção	Alerta
NA-01	-	-	-	476,32	476,60
NA-201	'41+6,640 Aterro'	470,68	469,23	473,95	475,00

Abaixo está o resumo da análise estatística.

TABELA 5. RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA.

Inst.	Consist.	Correlação Montante	Correlação Jusante	Comport.	Magnitude [cm/leitura]	Gráfico
NA-01	-	-	-	-	-	GRÁFICO 6
NA-201	Simétrico	Sim	Não	Aumento de nível	1	GRÁFICO 7

COMENTÁRIOS Janela de análise: JAN2019-JAN2022.

A análise de simetria da primeira derivada das séries temporais indica que os dados são simétricos.

‘NA-201’ indica correlação linear com nível de montante do reservatório e tendência de aumento do nível d’água de 1 cm por leitura. A situação tem sido acompanhada no relatório mensal de validação de instrumentação.

‘NA-01’ não foi avaliado em função das influências de pluviometria que o instrumento vem apresentando desde outubro de 2020. O instrumento está sendo alvo de estudo para reinstrumentação.

5.1.3 Medidor de Vazão – MV

Para as análises de limites dos MVs foram utilizadas todas as informações contidas no histórico de dados. Na Tabela 6 estão resumidos os Níveis de Referência obtidos.

TABELA 6. RESUMO DO NÍVEIS DE REFERÊNCIA [L/S].

Instrumento	Informações	NRS	Limite
MV-01	9+3,350 Pé da barragem	3,52	6,17
MV-02	9+8,081 Entrada da CF	0,19	6,00
MV-201	41+2,192 Pé da barragem	1,67	13,50
MV-202	36+12,060 Pé da barragem	15,21	18,57
MV-101	Galeria sucção	0,03	6,00
MV-102	Galeria sucção	0,36	6,00
MV-104	Galeria sucção	0,41	6,00
MV-107	Galeria drenagem VT	0,14	6,00
MV-108	Galeria drenagem VT	0,01	6,00
MV-110	Galeria drenagem VT	0,14	6,00
MV-111	Galeria drenagem VT	0,29	6,00
MV-114	Galeria drenagem VT	5,68	6,00
MV-115	-	16,71	6,00

Abaixo está o resumo da análise estatística.

TABELA 7. RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA.

Inst.	Consist.	Correlação Montante	Correlação Jusante	Comport.	Magnitude [cm/leitura]	Gráfico
MV-01	Simétrico	Não	Não	Queda de Fluxo	-2	GRÁFICO 8
MV-02	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 9
MV-201	Simétrico	Não	Sim	Queda de Fluxo	-2	GRÁFICO 19
MV-202	Simétrico	Não	Não	Queda de Fluxo	-9	GRÁFICO 20
MV-101	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 10
MV-102	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 11
MV-104	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 12
MV-107	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 13
MV-108	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 14 GRÁFICO 14
MV-110	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 15
MV-111	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 16
MV-114	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 17
MV-115	Simétrico	Não	Não	Queda de Fluxo	-1	GRÁFICO 18

COMENTÁRIOS Janela de análise: JAN2019-JAN2022.

Todas as séries indicam simetria.

'MV-115' indica discrepância entre NRS e o limite existente.

5.1.4 Medidor Triortogonal de Junta – MT

Para as análises de limites dos MTs foram utilizadas todas as informações contidas no histórico de dados. São avaliadas três componentes:

- 'x' → (+) Abertura / (-) Fechamento;
- 'y' → (+) Avanço / (-) Recuo;
- 'z' → (+) Recalque / (-) Flutuação.

Na Tabela 8 estão resumidos os Níveis de Referência obtidos.

TABELA 8. RESUMO DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA [MM].

Instrumento	Informações	NRS x	NRI x	NRS y	NRI y	NRS z	NRI z
MT-101	Galeria AM-01/AM-02	0,20	-0,14	0,10	-0,06	0,12	-0,08
MT-102	TA-01/02	0,15	-0,11	0,12	-0,07	0,14	-0,09
MT-106	CCR-01/CCR-02	0,29	-0,46	0,09	-0,07	0,11	-0,08
MT-107	CCR-02/CCR-03	0,08	-0,08	0,22	-0,10	0,11	-0,04
MT-108	CCR-03/CCR-04	0,10	-0,01	0,24	-0,04	0,05	-0,06
MT-109	CCR-04/CCR-05	0,08	-0,10	0,04	-0,04	0,06	-0,04
MT-110	CCR-05/CCR-06	0,04	-0,04	0,04	-0,04	0,04	-0,06
MT-111	CF-01/CF-02	0,40	-0,82	0,03	-0,06	0,08	-0,08
MT-112	VT/CCR Blocos 2-1	1,02	-0,48	0,00	-0,29	0,18	-0,23
MT-113	ML/VT Blocos MLX1	1,82	-0,91	0,39	-0,54	0,10	-0,19
MT-114	VT Blocos 1-2	0,38	-0,27	0,04	-0,22	0,01	-0,26

Instrumento	Deslocamentos máximos (mm)		
	Recalque e Flutuação	Avanço e Recuo	Abertura e Fechamento
MTs	±3	±5	±7

Abaixo está o resumo da análise estatística.



TABELA 9. RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA.

Instrumento	Consistência x	Consistência y	Consistência y	Gráfico
MT-101	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 21
MT-102	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 22
MT-106	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 23
MT-107	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 24
MT-108	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 25
MT-109	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 26
MT-110	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 27
MT-111	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 28
MT-112	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 29
MT-113	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 30
MT-114	Simétrico	Simétrico	Simétrico	GRÁFICO 31

COMENTÁRIOS Janela de análise: JAN2019-JAN2022.

Todas as séries indicam simetria.

5.1.5 Piezômetro de Tubo – PZ

Para as análises de limites dos PZs foram utilizadas todas as informações contidas no histórico de dados. Na Tabela 10 estão resumidos os Níveis de Referência obtidos para instrumentos instalados nas barragens de terra.

TABELA 10. RESUMO DO NÍVEIS DE REFERÊNCIA [M] – BARRAGEM DE TERRA.

Instrumento	Informações	NRS	NRI	Atenção	Alerta
PZ-1	8+9,27 Macico	471,07	470,66	475,90	476,70
PZ-2	8+9,27 Macico	475,30	474,79	475,90	476,80
PZ-3	7+10,16 Filtro	476,66	470,60	474,60	475,10
PZ-4	7+9,93 Filtro	470,81	470,76	472,50	472,80
PZ-5	7+9,93 Fundacao	470,69	470,46	472,80	473,10
PZ-6	7+19,96 Fundacao	474,47	473,52	475,63	476,33
PZ-7	4+19,31 Filtro	474,35	473,47	474,58	475,48
PZ-8	4+19,31 Fundacao	474,35	473,46	477,50	478,50
PZ-201	46+4,80 Filtro	470,58	470,56	472,00	473,50
PZ-202	46+4,80 Contato	474,12	464,09	472,20	473,50
PZ-203	46+5,06 Contato	468,93	467,74	470,50	471,00
PZ-204	41+6,63 Filtro	463,50	463,42	465,70	468,20
PZ-205	41+6,63 Contato	463,21	462,84	466,00	468,50
PZ-206	41+6,93 Contato	462,62	462,29	463,10	463,40
PZ-208	36+16,46 Filtro	456,16	455,94	468,90	472,50
PZ-209	36+16,46 Fundação	456,20	455,97	457,00	461,00
PZ-210	36+16,91 Fundação	453,41	453,28	454,00	454,50
PZ-211	33+10,17 Filtro	458,64	458,00	459,50	463,40
PZ-212	33+10,17 Fundação	457,00	455,94	459,30	463,20

Instrumento	Informações	NRS	NRI	Atenção	Alerta
PZ-213	33+10,01 Filtro	450,32	448,98	450,40	451,40
PZ-214	33+10,01 Fundação	450,38	449,21	450,30	461,30
PZ-215	29+10,11 Filtro	456,68	455,20	456,00	460,70
PZ-216	29+10,11 Fundação	454,08	453,21	457,00	460,40
PZ-217	29+9,92 Filtro	453,10	451,91	454,10	455,40
PZ-218	29+9,92 Fundação	452,79	451,65	454,50	455,10
PZ-219	29+9,92 Fundação	451,77	450,42	454,50	455,10
PZ-220	24+19,17 Filtro	449,56	448,31	451,30	458,60
PZ-221	24+19,71 Fundação	451,84	450,54	451,30	458,60
PZ-222	24+19,71 Fundação	452,18	450,79	451,30	458,60
PZ-223	25+0,15 Filtro	449,85	448,56	451,50	453,30
PZ-224	25+0,15 Fundação	452,23	450,29	451,70	453,60
PZ-225	25+0,15 Fundação	449,68	448,27	451,20	453,10
PZ-226	23+9,51 Filtro	451,71	450,21	454,80	456,80
PZ-227	23+9,51 Fundação	449,86	448,52	451,20	453,00
PZ-228	23+9,51 Fundação	450,19	448,83	452,40	454,90
PZ-229	23+10,05 Filtro	449,59	448,33	451,05	452,75
PZ-230	23+10,05 Fundação	449,72	448,42	451,40	452,20
PZ-231	23+10,05 Fundação	449,76	448,55	451,60	452,60
PZ-233	21+11,43 Fundação	451,62	450,37	455,00	458,50
PZ-234	21+11,43 Fundação	451,72	450,44	452,50	456,50
PZ-235	21+12,05 Fundação	449,77	448,41	452,00	455,50
PZ-236	21+12,05 Fundação	449,92	448,69	453,50	457,00
PZ-237	21+12,05 Fundação	449,83	448,59	452,50	456,00
PZ-238	20+11,63 Maciço	472,90	468,82	475,70	477,00
PZ-239	20+11,63 Maciço	465,90	460,61	469,00	469,50
PZ-240	20+13,42 Fundação	449,67	448,41	452,50	456,00
PZ-241	20+13,42 Fundação	449,88	448,60	453,50	456,50
PZ-242	20+13,42 Fundação	461,54	454,56	451,50	455,50

- INSTRUMENTOS OBSTRUÍDOS

Abaixo está o resumo da análise estatística.

TABELA 11. RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA – BARRAGEM DE TERRA.

Inst.	Consist.	Correlação Montante	Correlação Jusante	Comport.	Magnitude [cm/leitura]	Gráfico
PZ-1	Simétrico	Sim	Não	Estável	0	GRÁFICO 32
PZ-2	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 33
PZ-3	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 34
PZ-4	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 35
PZ-5	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 36
PZ-6	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 37
PZ-7	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 38
PZ-8	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 39
PZ-201	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 79
PZ-202	Assimétrico	Não	Não	Aumento de pressão	6	GRÁFICO 80



Inst.	Consist.	Correlação Montante	Correlação Jusante	Comport.	Magnitude [cm/leitura]	Gráfico
PZ-203	Simétrico	Não	Não	Queda de pressão	-1	GRÁFICO 81
PZ-204	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 82
PZ-205	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 83
PZ-206	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 84
PZ-208	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 85
PZ-209	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 86
PZ-210	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 87
PZ-211	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 88
PZ-212	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 89
PZ-213	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 90
PZ-214	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 91
PZ-215	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 92
PZ-216	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 93
PZ-217	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 94
PZ-218	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 95
PZ-219	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 96
PZ-220	Simétrico	Não	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 97
PZ-221	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 98
PZ-222	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 99
PZ-223	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 100
PZ-224	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	2	GRÁFICO 101
PZ-225	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 102
PZ-226	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 103
PZ-227	Simétrico	Não	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 104
PZ-228	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 105
PZ-229	Simétrico	Não	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 106
PZ-230	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 107
PZ-231	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 108
PZ-233	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 109
PZ-234	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 110
PZ-235	Simétrico	Sim	Sim	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 111
PZ-236	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 112
PZ-237	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 113

Inst.	Consist.	Correlação Montante	Correlação Jusante	Comport.	Magnitude [cm/leitura]	Gráfico
PZ-238	Simétrico	Não	Não	Aumento de pressão	2	GRÁFICO 114
PZ-239	Simétrico	Não	Não	Aumento de pressão	5	GRÁFICO 115
PZ-240	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 116
PZ-241	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 117
PZ-242	Simétrico	Não	Não	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 118

COMENTÁRIOS Janela de análise: JAN2020-JAN2022.

‘PZ-202’ indicou assimetria por mudança de patamar, evento anormal ou erro de leitura.

O comportamento do ‘PZ-202’ foi estudado após elevação dos níveis em outubro de 2020. Assim a assimetria pode ser considerada real.

Na Tabela 12 estão resumidos os Níveis de Referência obtidos para instrumentos instalados nas barragens de concreto.

TABELA 12. RESUMO DO NÍVEIS DE REFERÊNCIA [M] – BARRAGEM DE CONCRETO.

Instrumento	Informações	NRS	NRI	Atenção	Alerta
PZ-101	Contato Concreto/Rocha	446,65	445,43	464,21	-
PZ-102	Rocha	431,92	430,85	462,85	-
PZ-103	Contato Concreto/Rocha	437,51	432,94	458,96	-
PZ-104	Rocha	447,17	445,86	468,95	-
PZ-105	Contato Concreto/Rocha	440,51	439,55	461,11	-
PZ-106	Rocha	439,31	438,39	469,72	-
PZ-107	Contato Concreto/Rocha	439,34	439,05	459,73	-
PZ-108	Rocha	440,38	439,45	469,26	-
PZ-109	Contato Concreto/Rocha	450,40	437,19	455,73	-
PZ-110	Rocha	441,61	437,54	451,64	-
PZ-111	Contato Concreto/Rocha	439,54	439,48	455,97	-
PZ-112	Rocha	430,64	430,31	450,16	-
PZ-113	Contato Concreto/Rocha	439,82	439,40	453,47	-
PZ-114	Rocha	429,64	429,43	449,84	-
PZ-115	Contato Concreto/Rocha	440,15	437,22	455,71	-
PZ-116	Rocha	441,20	439,69	458,39	-
PZ-125	Contato Concreto/Rocha	461,34	461,34	472,71	-
PZ-126	Contato Concreto/Rocha	459,88	459,43	471,23	-
PZ-127	Contato BVA/BD	462,20	461,99	469,46	-
PZ-128	Contato BVA/BD	460,96	460,21	469,86	-
PZ-129	Contato Concreto/Rocha	452,17	451,51	475,62	-
PZ-130	Contato Concreto/Rocha	451,31	449,60	473,40	-
PZ-131	Contato BVA/BD	454,27	453,77	474,62	-
PZ-132	Contato BVA/BD	453,50	453,09	473,22	-

Instrumento	Informações	NRS	NRI	Atenção	Alerta
PZ-133	Contato Concreto/Rocha	454,41	453,62	472,42	-
PZ-134	Contato Concreto/Rocha	452,68	451,42	469,57	-
PZ-135	Contato BVA/BD	453,11	452,14	463,69	-
PZ-136	Contato BVA/BD	451,48	450,13	463,90	-
PZ-137	Contato Concreto/Rocha	455,82	455,29	466,52	-
PZ-138	Contato Concreto/Rocha	455,29	454,71	472,28	-
PZ-139	Contato BVA/BD	455,15	454,98	467,03	-
PZ-140	Contato BVA/BD	455,05	454,89	463,84	-
PZ-141	Contato Concreto/Rocha	454,79	454,27	469,62	-
PZ-142	Contato Concreto/Rocha	454,78	454,03	470,09	-
PZ-143	Contato BVA/BD	455,21	455,10	465,96	-
PZ-144	Contato BVA/BD	451,37	450,16	462,52	-
PZ-148	Fundação	469,15	467,01	-	-
PZ-149	Fundação	473,90	470,50	-	-
PZ-150	Fundação	456,04	454,88	-	-

- INSTRUMENTOS OBSTRUÍDOS

Abaixo está o resumo da análise estatística.

Inst.	Consist.	Correlação Montante	Correlação Jusante	Comport.	Magnitude [cm/leitura]	Gráfico
PZ-101	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 40
PZ-102	Assimétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 41
PZ-103	Assimétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 42
PZ-104	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 43
PZ-105	Simétrico	Não	Não	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 44
PZ-106	Assimétrico	Não	Não	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 45
PZ-107	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 46
PZ-108	Simétrico	Não	Não	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 47
PZ-109	Simétrico	Não	Não	Aumento de pressão	11	GRÁFICO 48
PZ-110	Assimétrico	Não	Não	Aumento de pressão	3	GRÁFICO 49
PZ-111	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 50
PZ-112	Assimétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 51
PZ-113	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 52
PZ-114	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 53
PZ-115	Simétrico	Não	Não	Queda de pressão	-5	GRÁFICO 54
PZ-116	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 55
PZ-125	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 56
PZ-126	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 57
PZ-127	Assimétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 58
PZ-128	Assimétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 59
PZ-129	Simétrico	Não	Não	Queda de pressão	-1	GRÁFICO 60



Inst.	Consist.	Correlação Montante	Correlação Jusante	Comport.	Magnitude [cm/leitura]	Gráfico
PZ-130	Simétrico	Não	Não	Queda de pressão	-2	GRÁFICO 61
PZ-131	Assimétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 62
PZ-132	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 63
PZ-133	Simétrico	Não	Não	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 64
PZ-134	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 65
PZ-135	Simétrico	Não	Não	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 66
PZ-136	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 67
PZ-137	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 68
PZ-138	Simétrico	Não	Sim	Estável	0	GRÁFICO 69
PZ-139	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 70
PZ-140	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 71
PZ-141	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 72
PZ-142	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 73
PZ-143	Simétrico	Não	Não	Estável	0	GRÁFICO 74
PZ-144	Simétrico	Sim	Sim	Estável	0	GRÁFICO 75
PZ-148	Simétrico	Sim	Não	Aumento de pressão	2	GRÁFICO 76
PZ-149	Simétrico	Sim	Não	Aumento de pressão	3	GRÁFICO 77
PZ-150	Simétrico	Não	Não	Aumento de pressão	1	GRÁFICO 78

COMENTÁRIOS Janela de análise: JAN2020-JAN2022.

‘PZ-102’, ‘PZ-103’, ‘PZ-106’, ‘PZ-110’, ‘PZ-112’, ‘PZ-127’, ‘PZ-128’ e ‘PZ-131’ indicam assimetria por mudança de patamar, evento anormal ou erro de leitura.

Os ‘PZ-102’, ‘PZ-103’, ‘PZ-112’, ‘PZ-127’, ‘PZ-128’ e ‘PZ-106’ apresentam assimetria em função de testes de perda d’água realizados em junho de 2020.

O ‘PZ-110’ se encontra obstruído, não sendo utilizado nas análises mensais.

6 CONCLUSÃO

A análise estatística desenvolvida para a instrumentação da UHE Caçu foi baseada no banco de dados disponível do sistema de auscultação do empreendimento. Dos instrumentos inventariados, 118 apresentaram séries históricas que puderam ser utilizadas nas análises estatísticas.

Com os resultados obtidos, **os Níveis de Referência Superior e Inferior deverão ser empregados como limite de conferição e validação de leituras** pela equipe responsável pelas inspeções. **Não deverão ser interpretados num primeiro momento como limites de alerta e/ou projeto**, mas sim, como limites de normalidade histórica da série temporal do instrumento em questão.

Para fins de boas práticas de engenharia, recomenda-se que os níveis de referência, calculados no presente estudo, sejam recalculados e validados a cada período de 2 anos, utilizando toda a série temporal, com dados anteriores e o período de novas leituras.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JULIANO, F.K.; CARDIA, R.J.R.; LOPES, W.P. Aproveitamento múltiplo Mogi-Guaçu: Valores de referência para piezômetros. In: 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE, 13 a 16 de novembro de 2005, Florianópolis, SC.

MONTGOMERY, D.C & RUNGER, G.C. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. Segunda Edição: LTC, 2003. 463p.



8 ANEXOS

ANEXO 1. SAÍDAS DO MODELO ESTATÍSTICO - EXTENSÔMETROS DE HASTE.

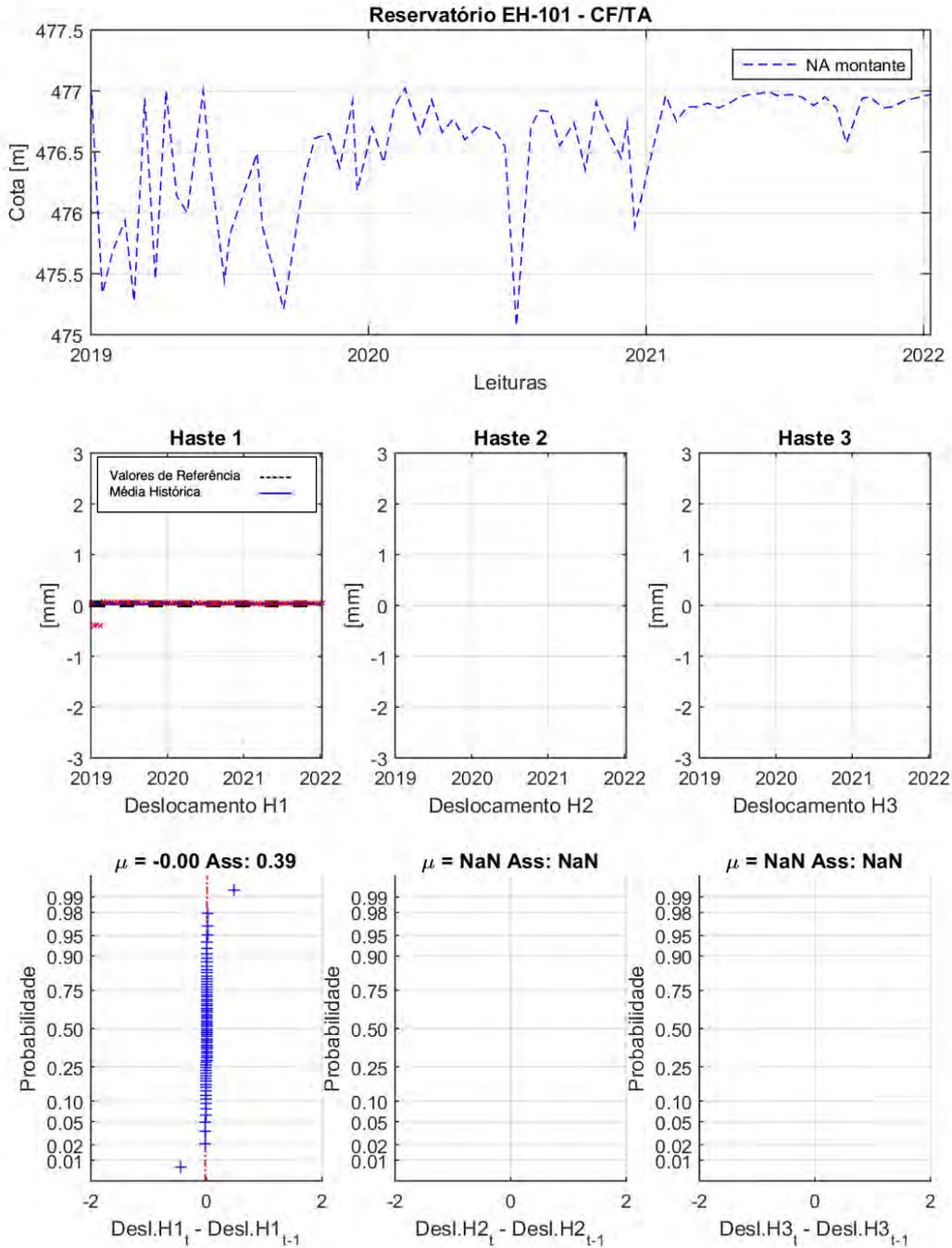


GRÁFICO 1.EH 101 – CF/TA. ¹

¹ Instrumento apresenta somente a Haste 1 (H1)

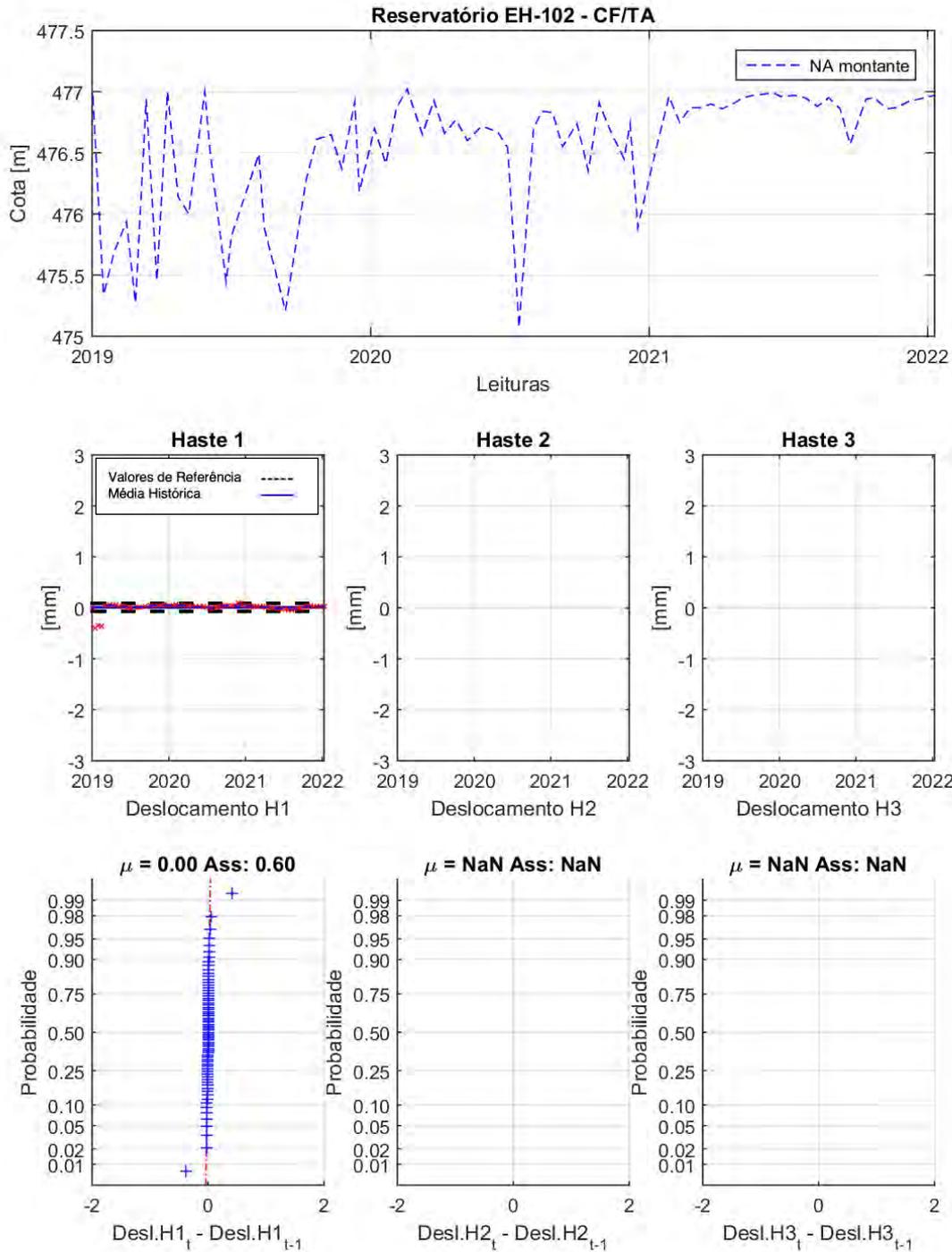


GRÁFICO 2. EH 102 – CF/TA.²

² Instrumento apresenta somente a Haste 1 (H1)

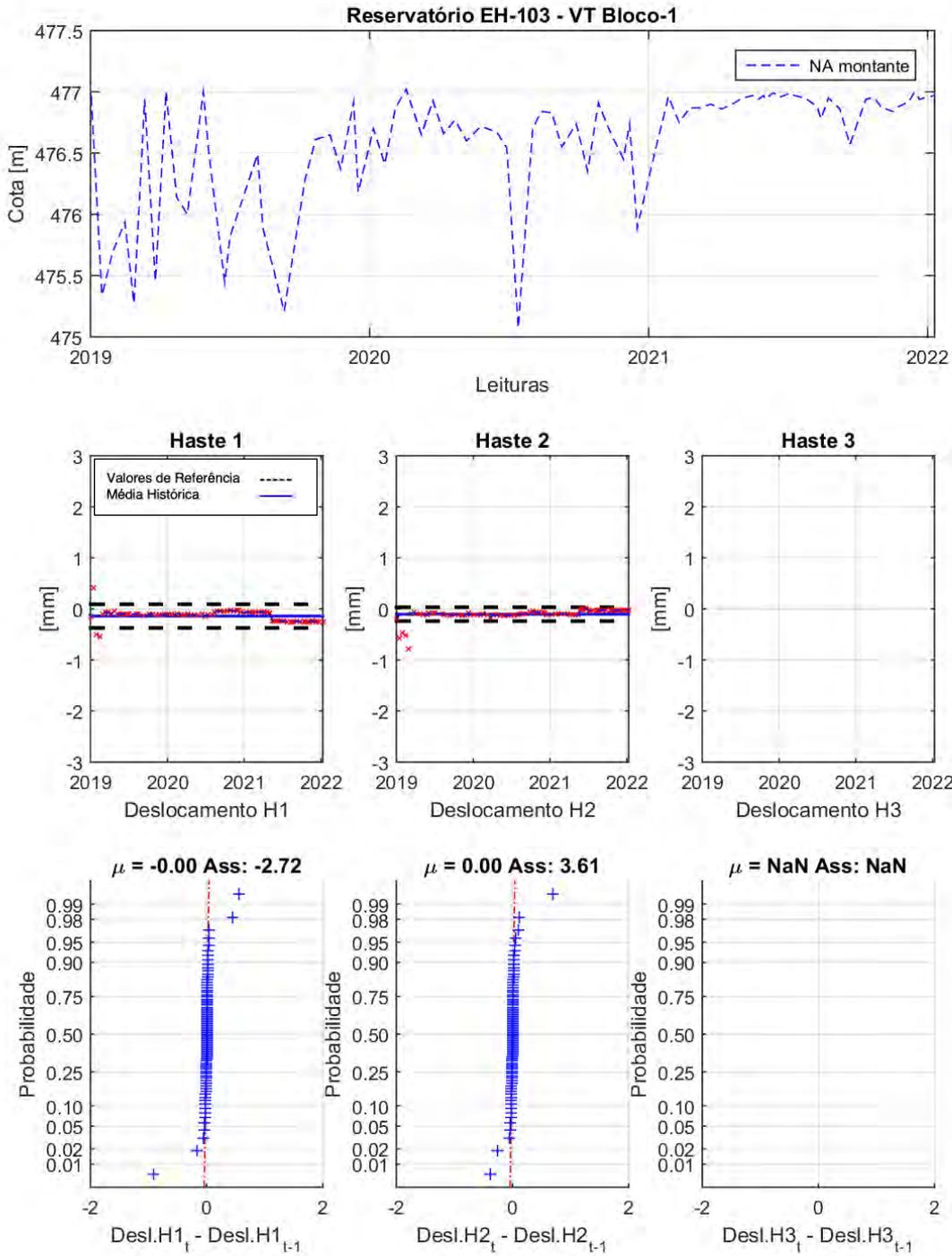


GRÁFICO 3. EH 103 – VT BLOCO 1. ³

³ Instrumento apresenta somente as Hastes 1 e 2 (H1 e H2)

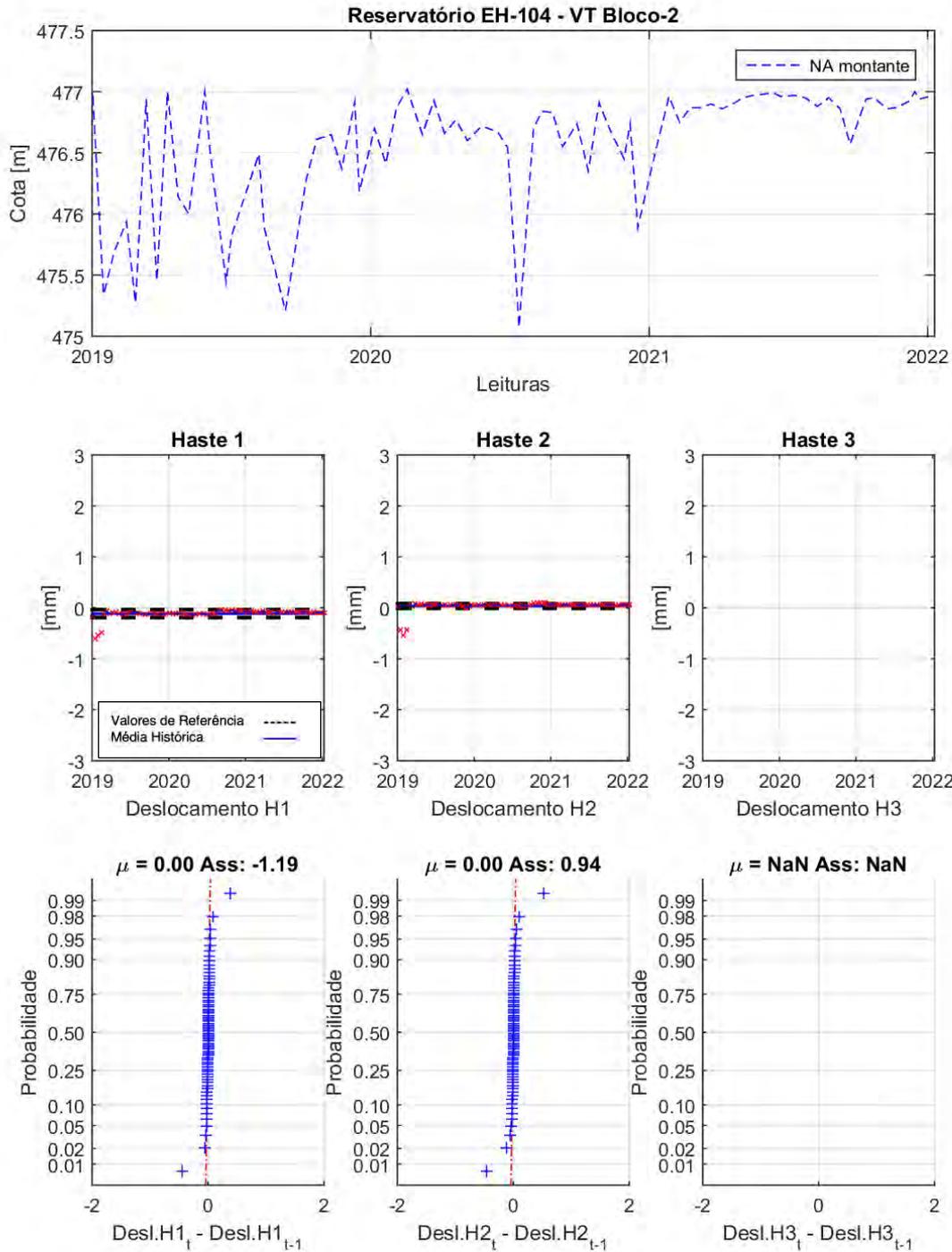


GRÁFICO 4. EH 104 – VT BLOCO 2. ⁴

⁴ Instrumento apresenta somente as Hastes 1 e 2 (H1 e H2)



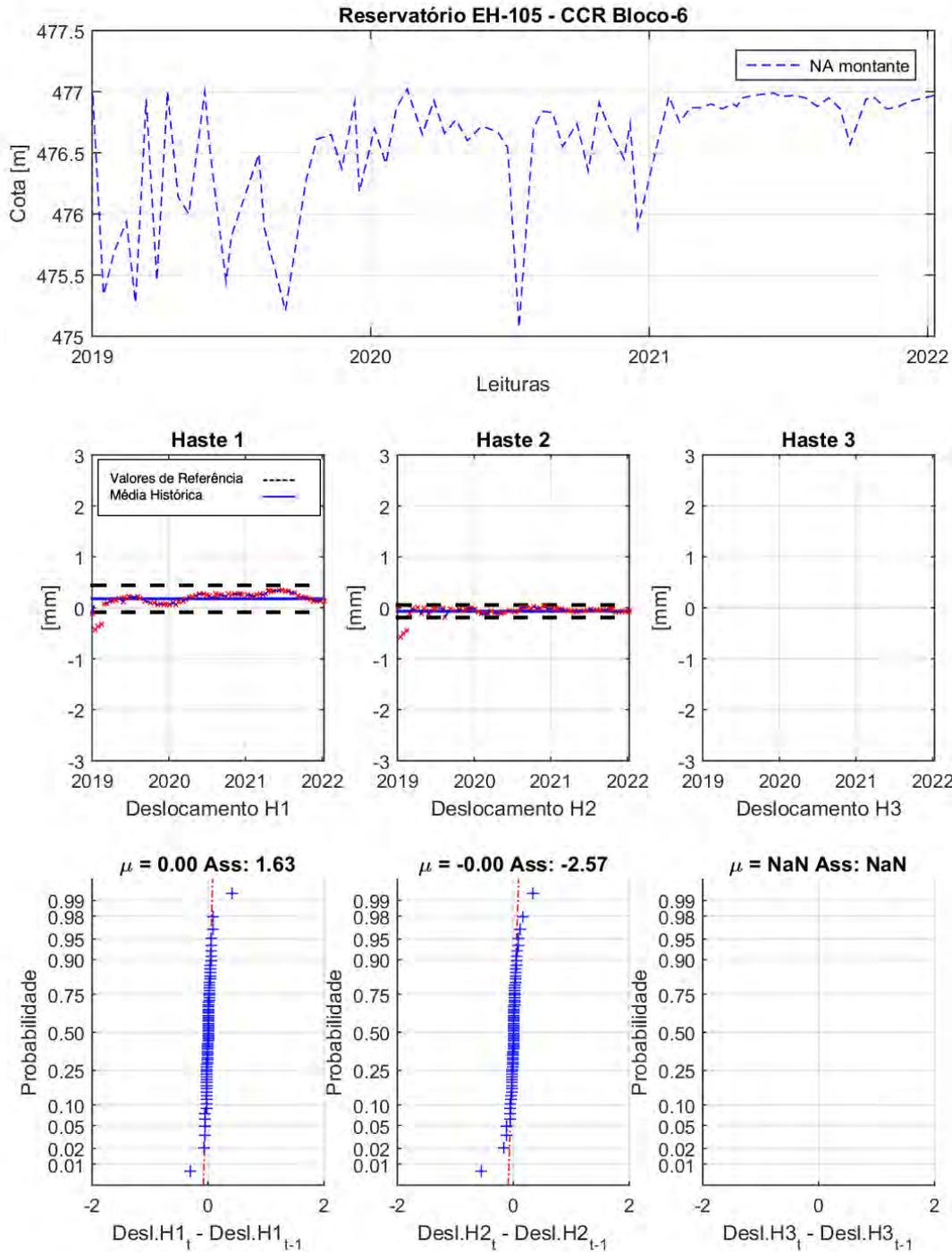


GRÁFICO 5. EH 105 - CCR BLOCO 6. ⁵

⁵ Instrumento apresenta somente as Hastes 1 e 2 (H1 e H2)



ANEXO 2. SAÍDAS DO MODELO ESTATÍSTICO - MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA.

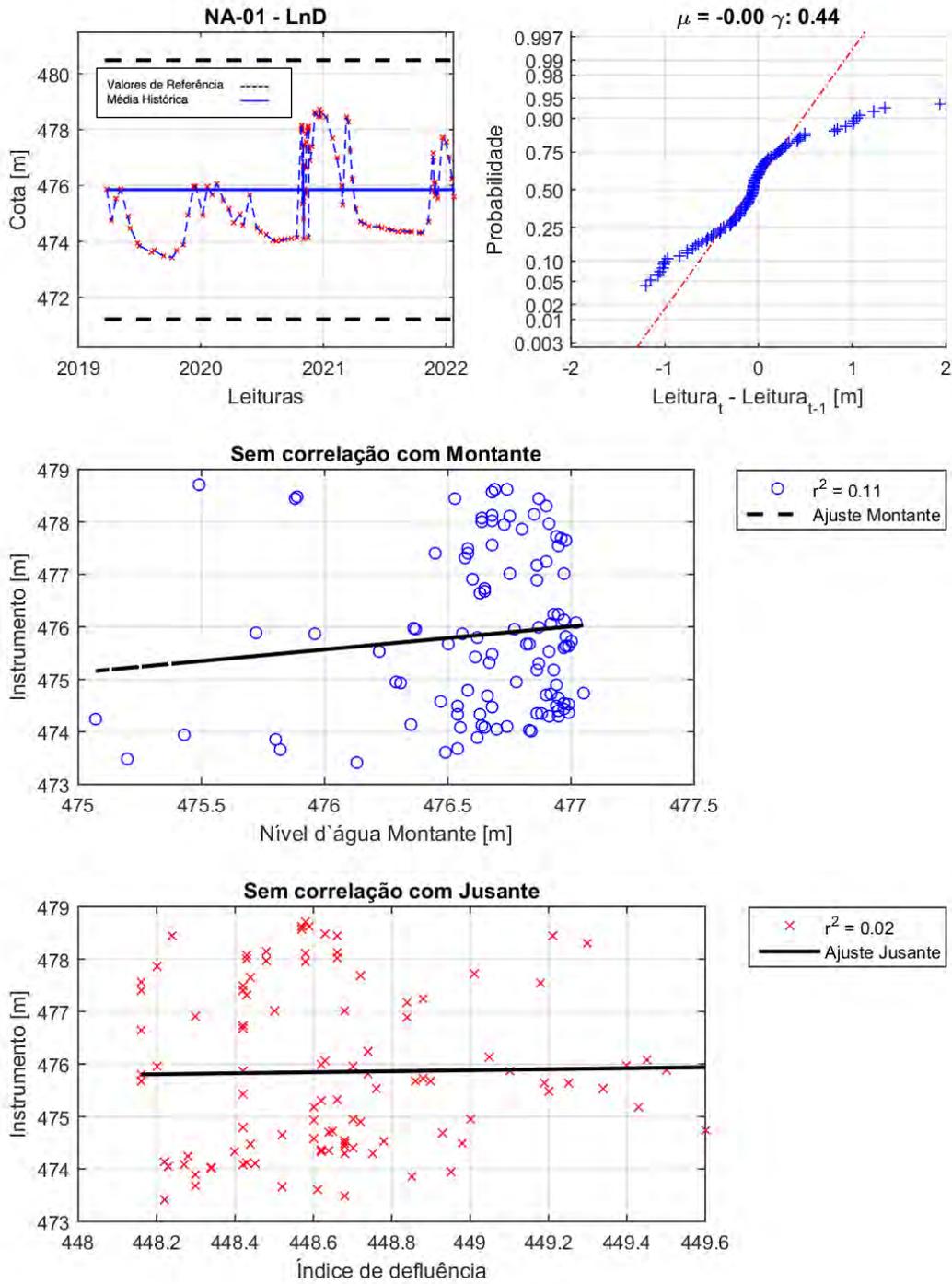


GRÁFICO 6. NA 01 – LND.

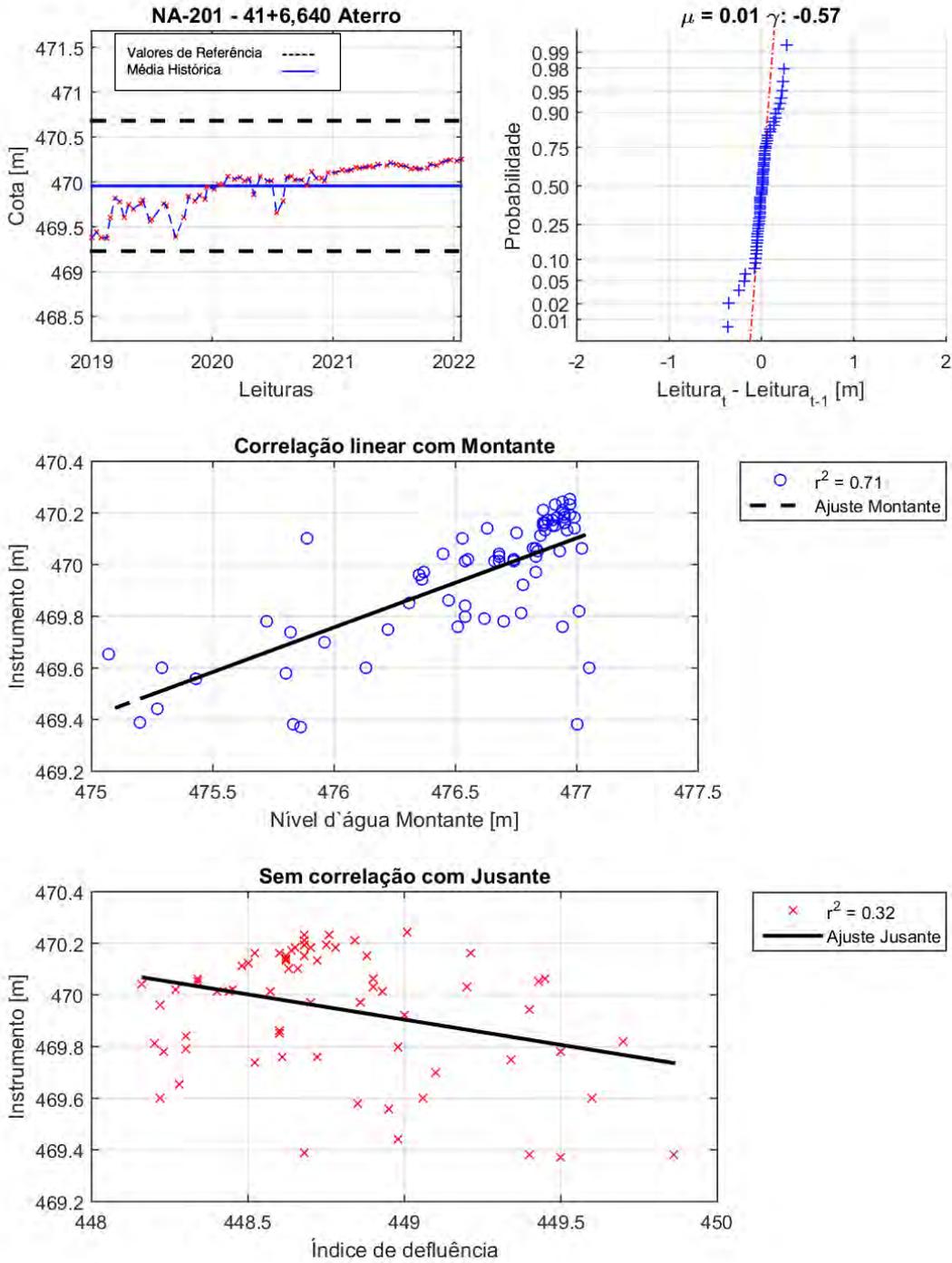


GRÁFICO 7. NA 201 - 41+6,640 ATERRO.

ANEXO 3. SAÍDAS DO MODELO ESTATÍSTICO - MEDIDORES DE VAZÃO.

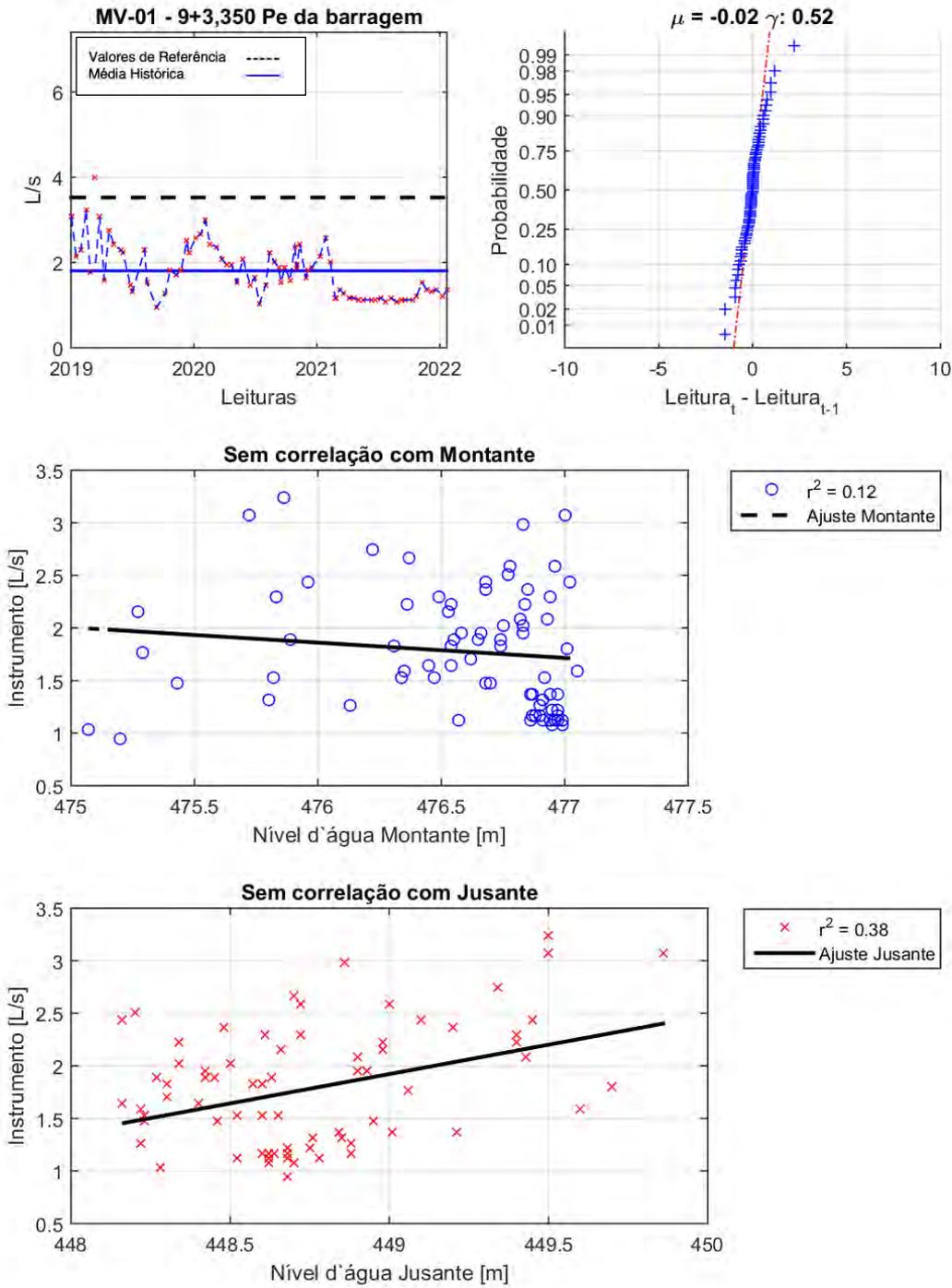


GRÁFICO 8. MV 1 - MD 9+3,350 PE DA BARRAGEM.

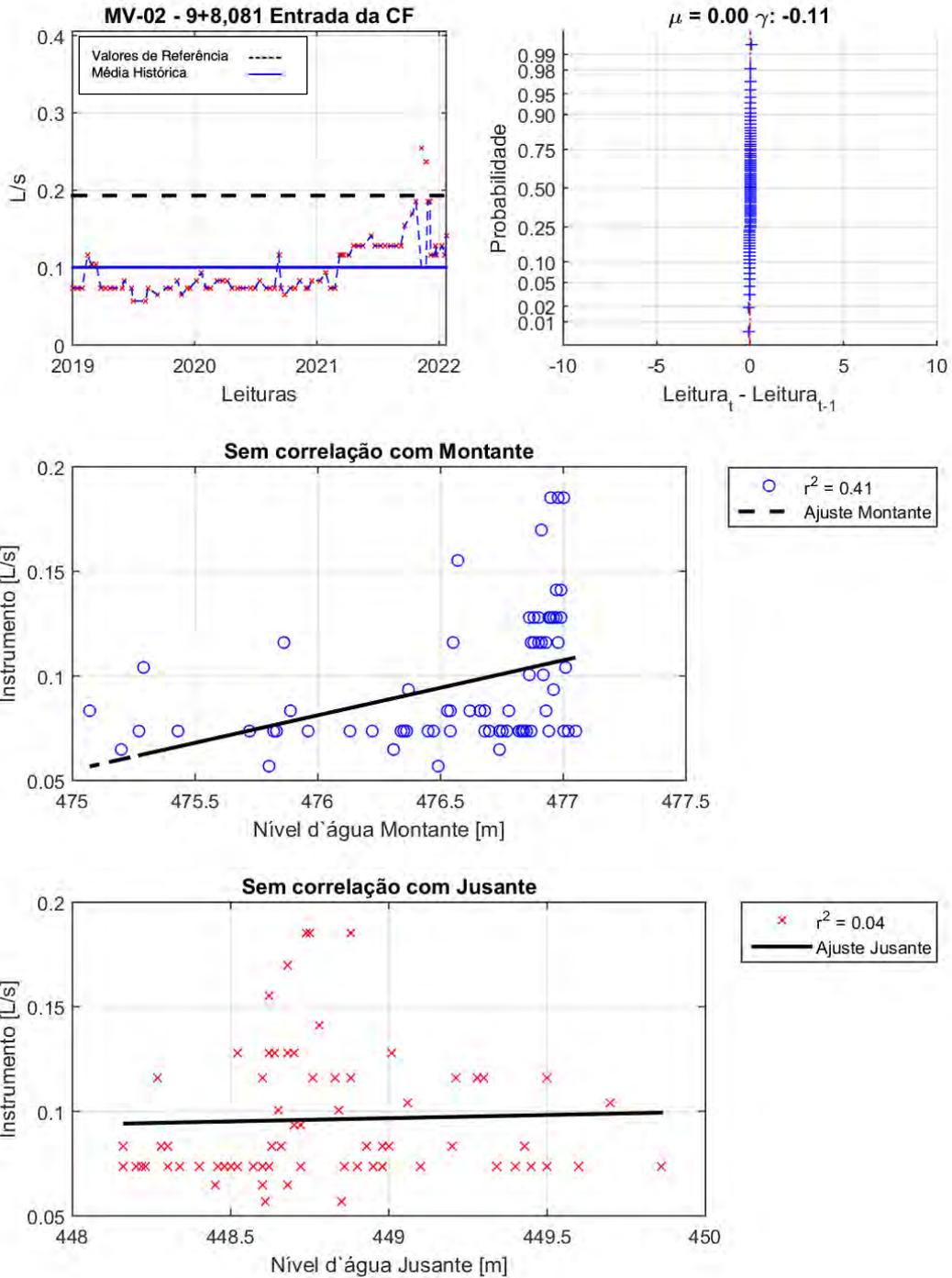


GRÁFICO 9. MV 02 - 9+8,081 ENTRADA DA CF.

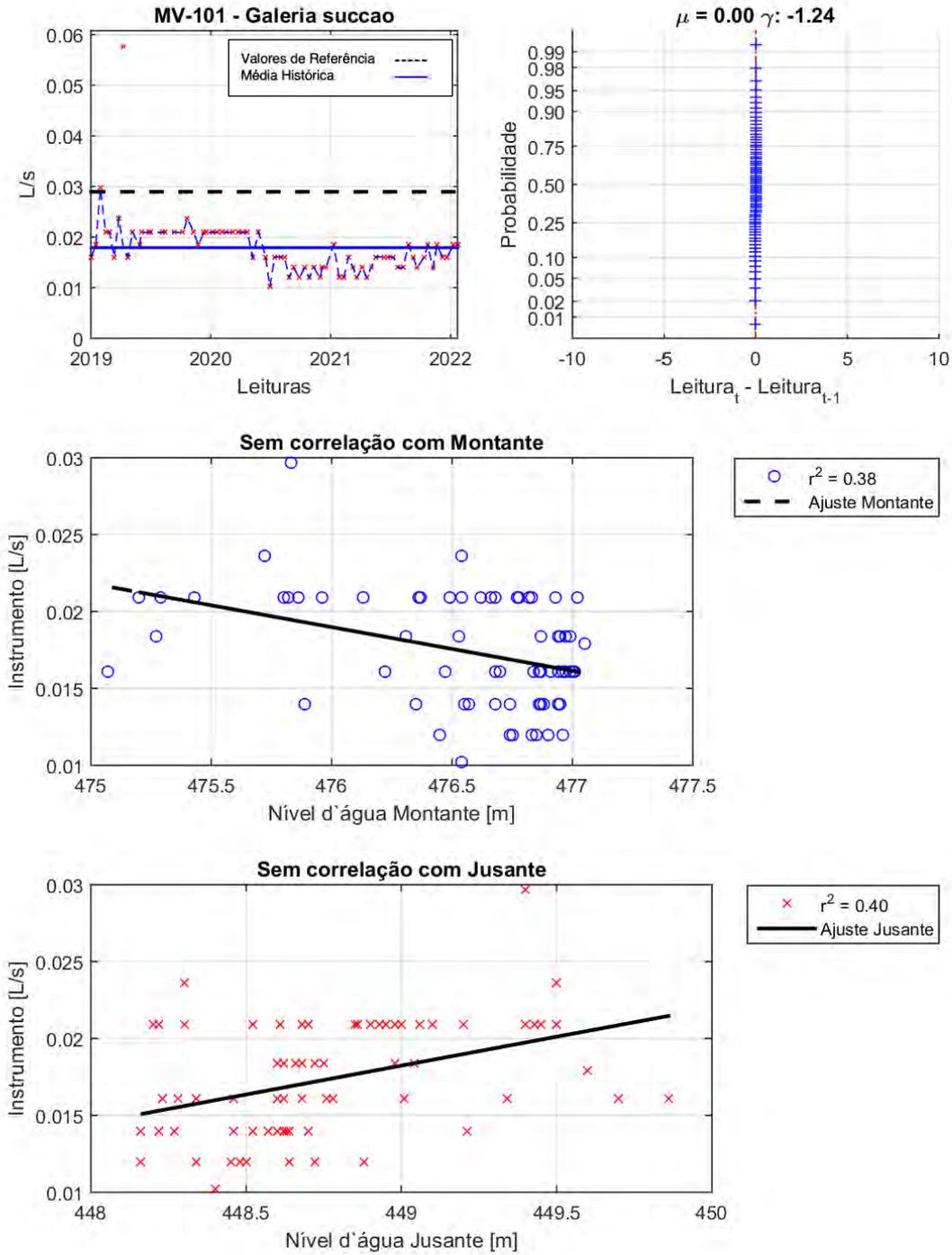


GRÁFICO 10. MV 101 - GALERIA SUCCAO.

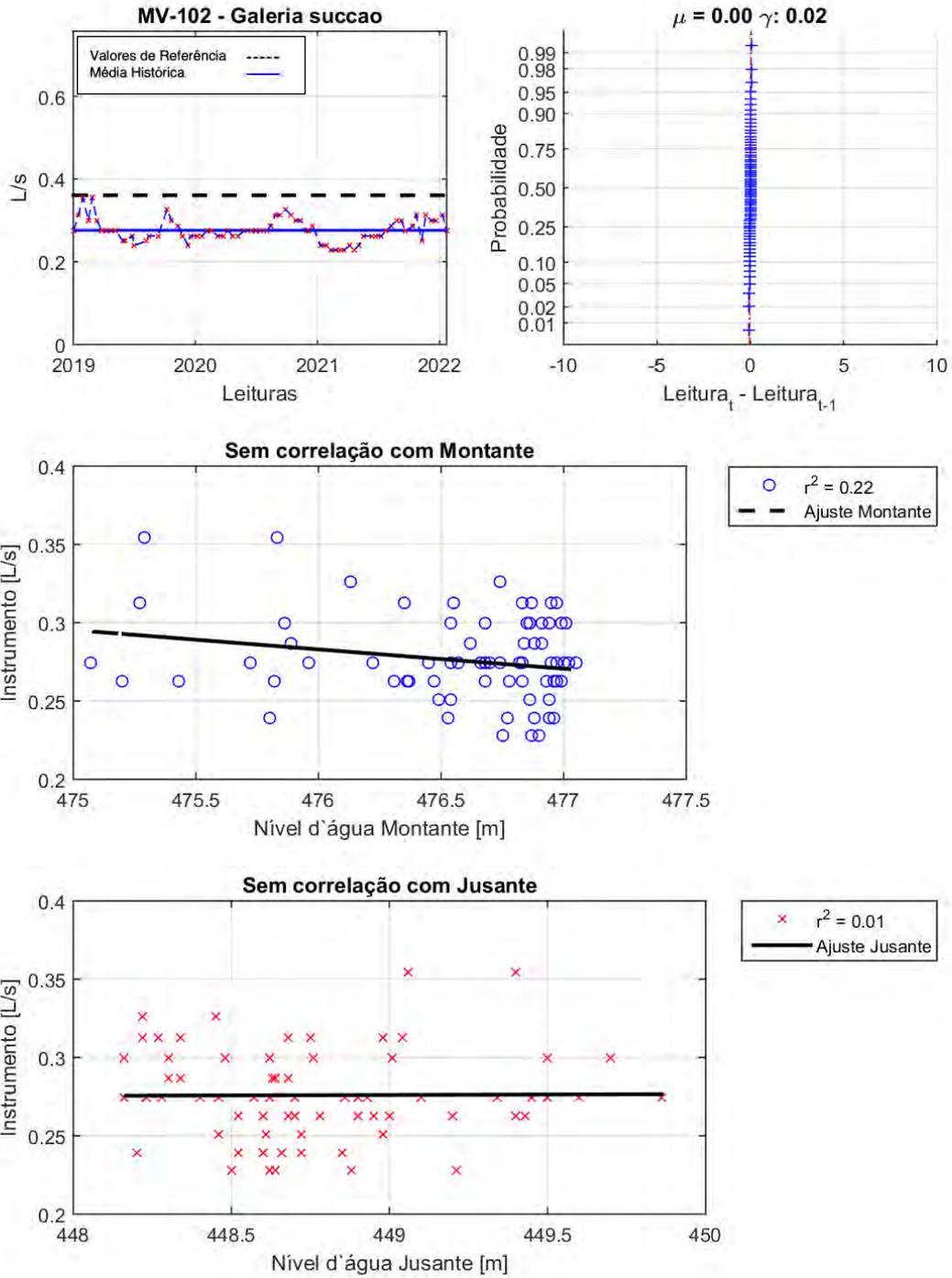


GRÁFICO 11. MV 102 - GALERIA SUCCAO.

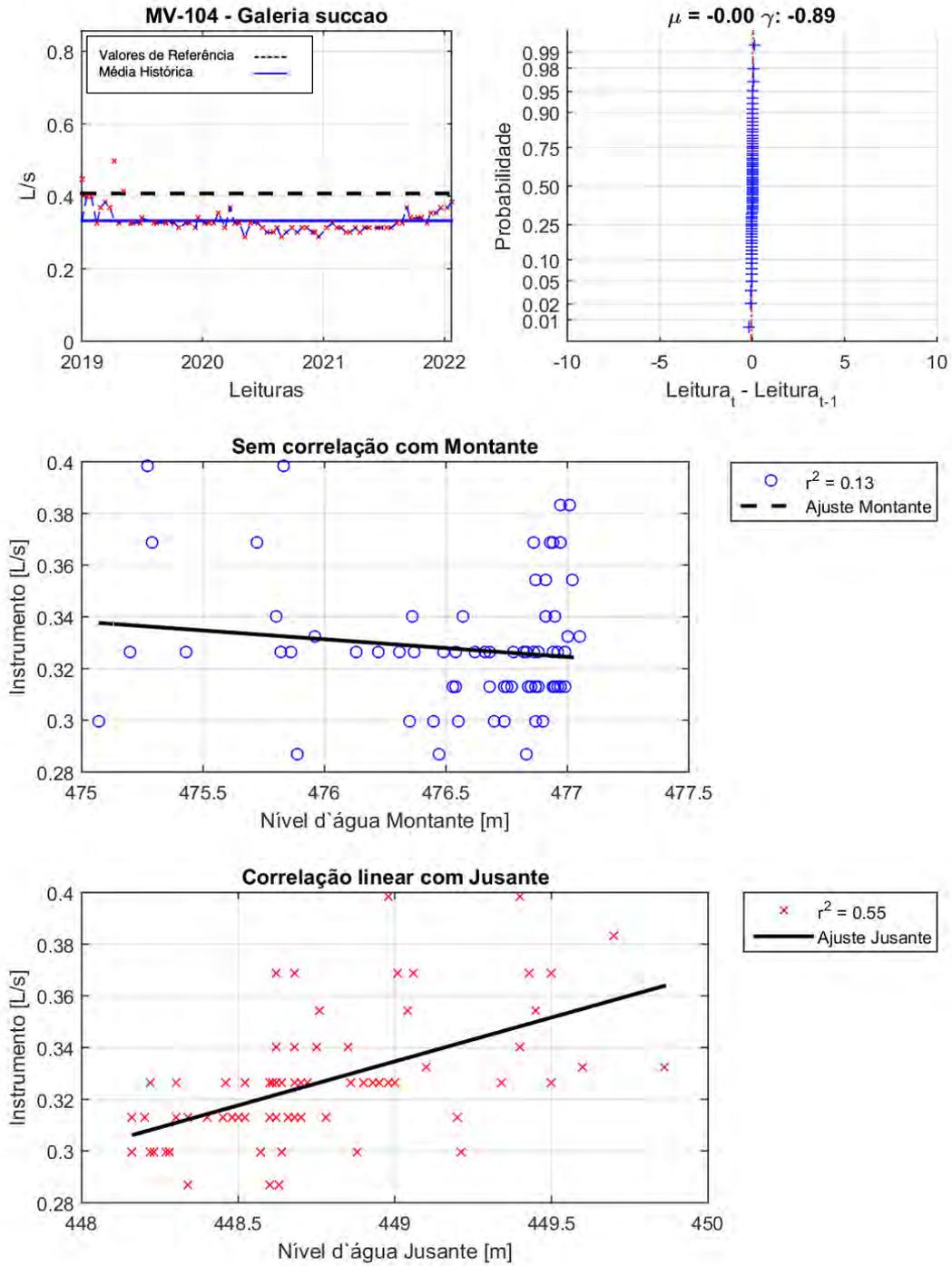


GRÁFICO 12. MV 104 - GALERIA SUCCAO.

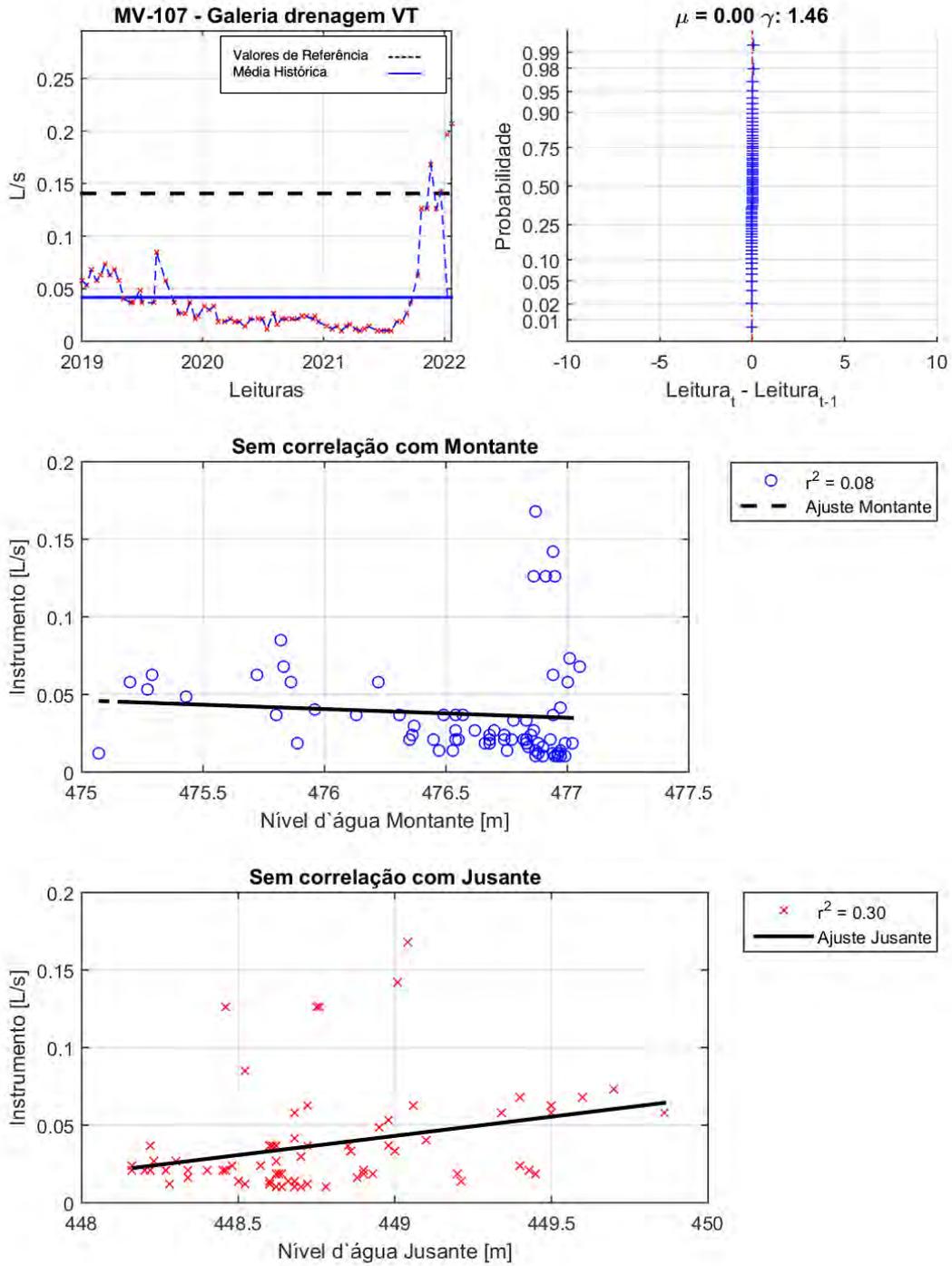


GRÁFICO 13. MV 107 - GALERIA DRENAGEM VT.

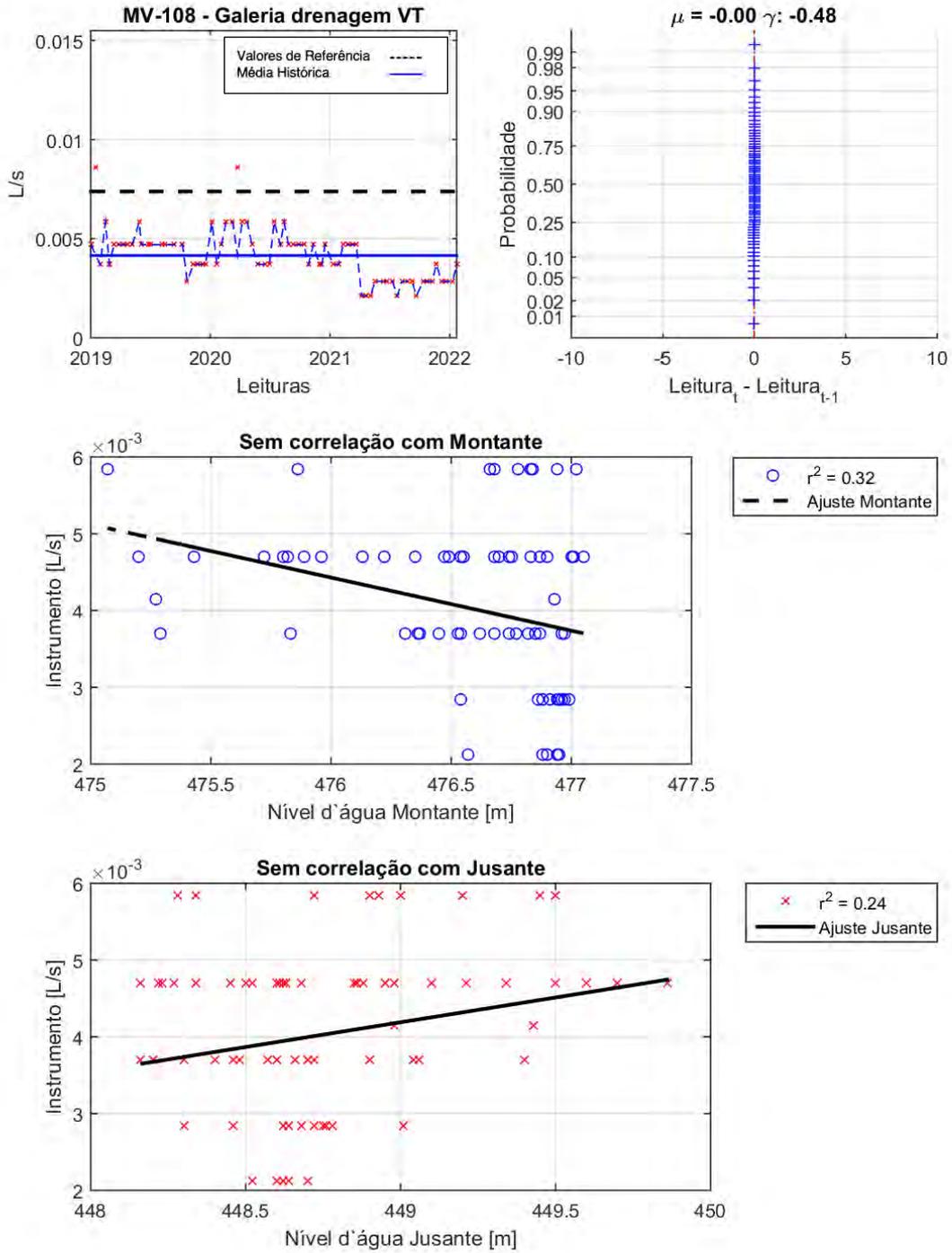


GRÁFICO 14. MV 108 - GALERIA DRENAGEM VT.

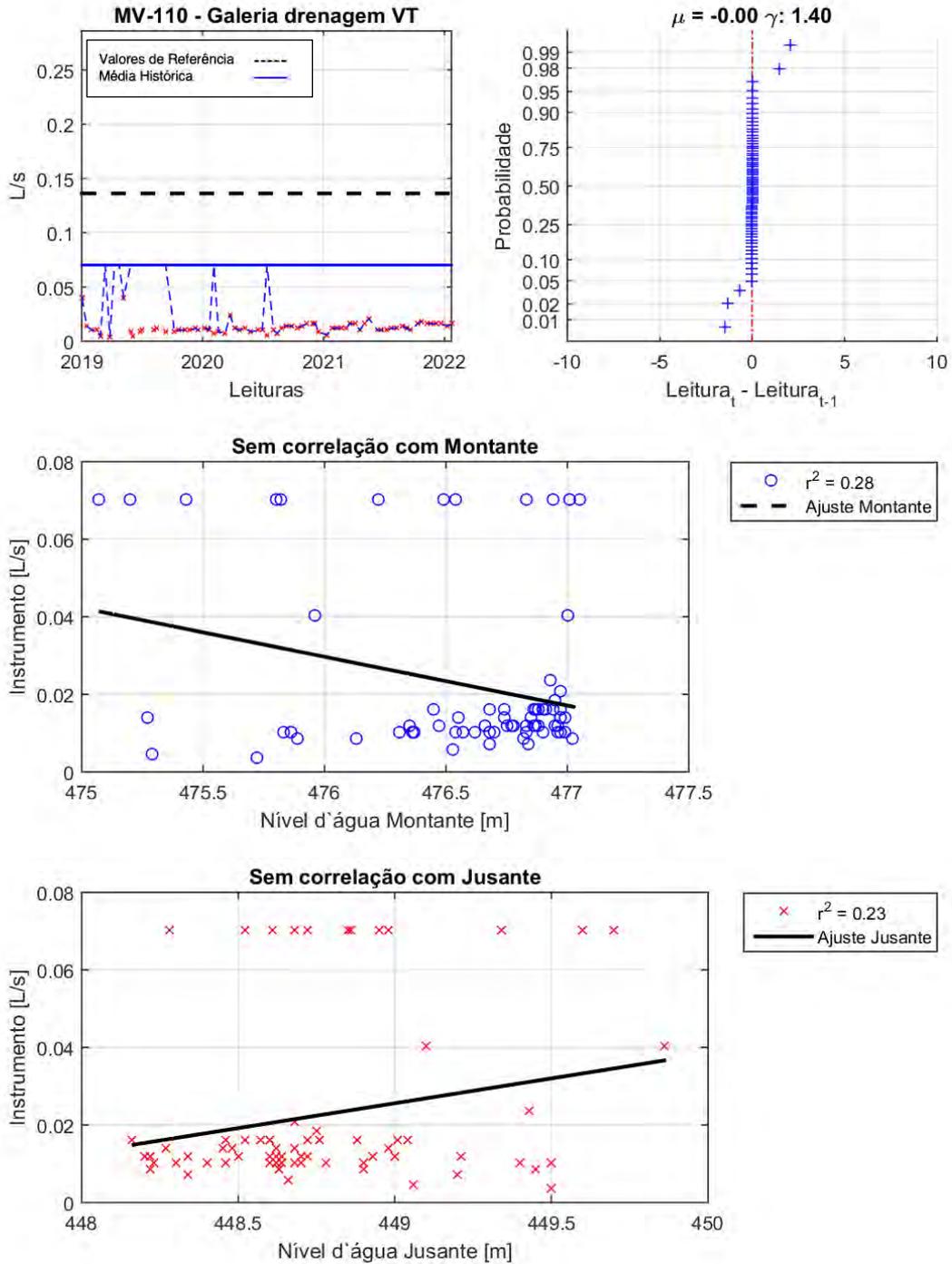


GRÁFICO 15. MV 110 - GALERIA DRENAGEM VT.

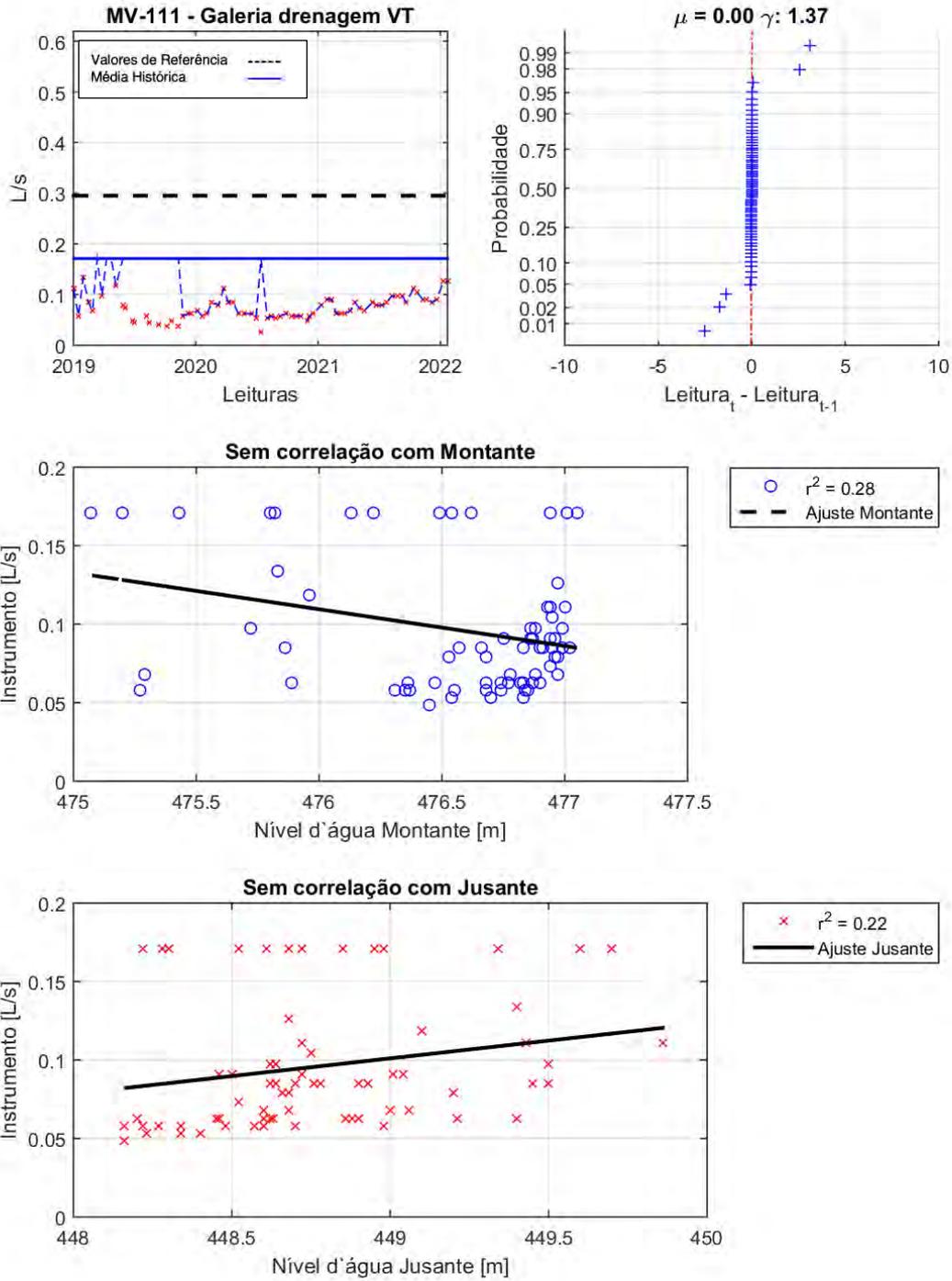


GRÁFICO 16. MV 111 - GALERIA DRENAGEM VT.

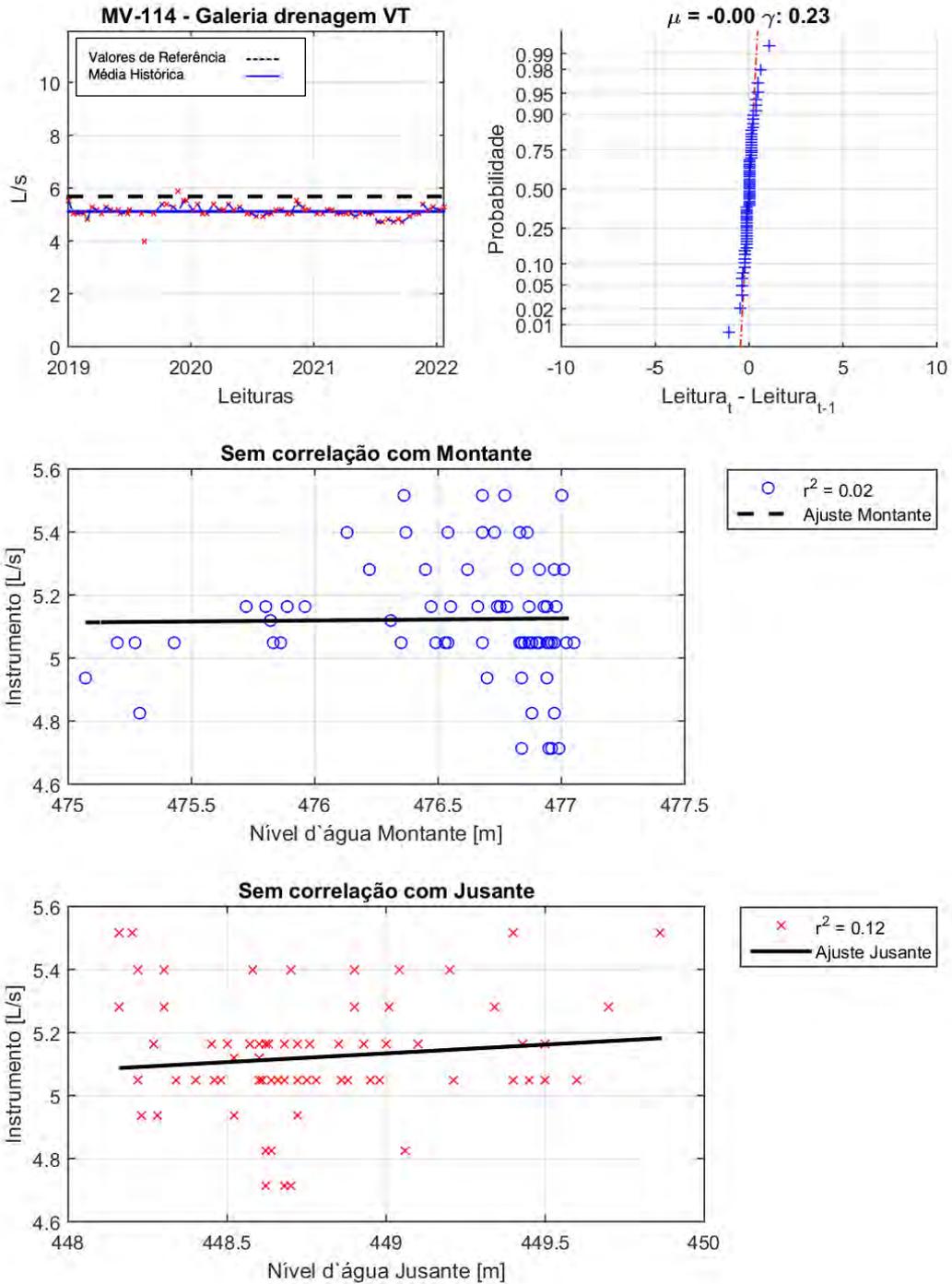


GRÁFICO 17. MV 114 - GALERIA DRENAGEM VT.

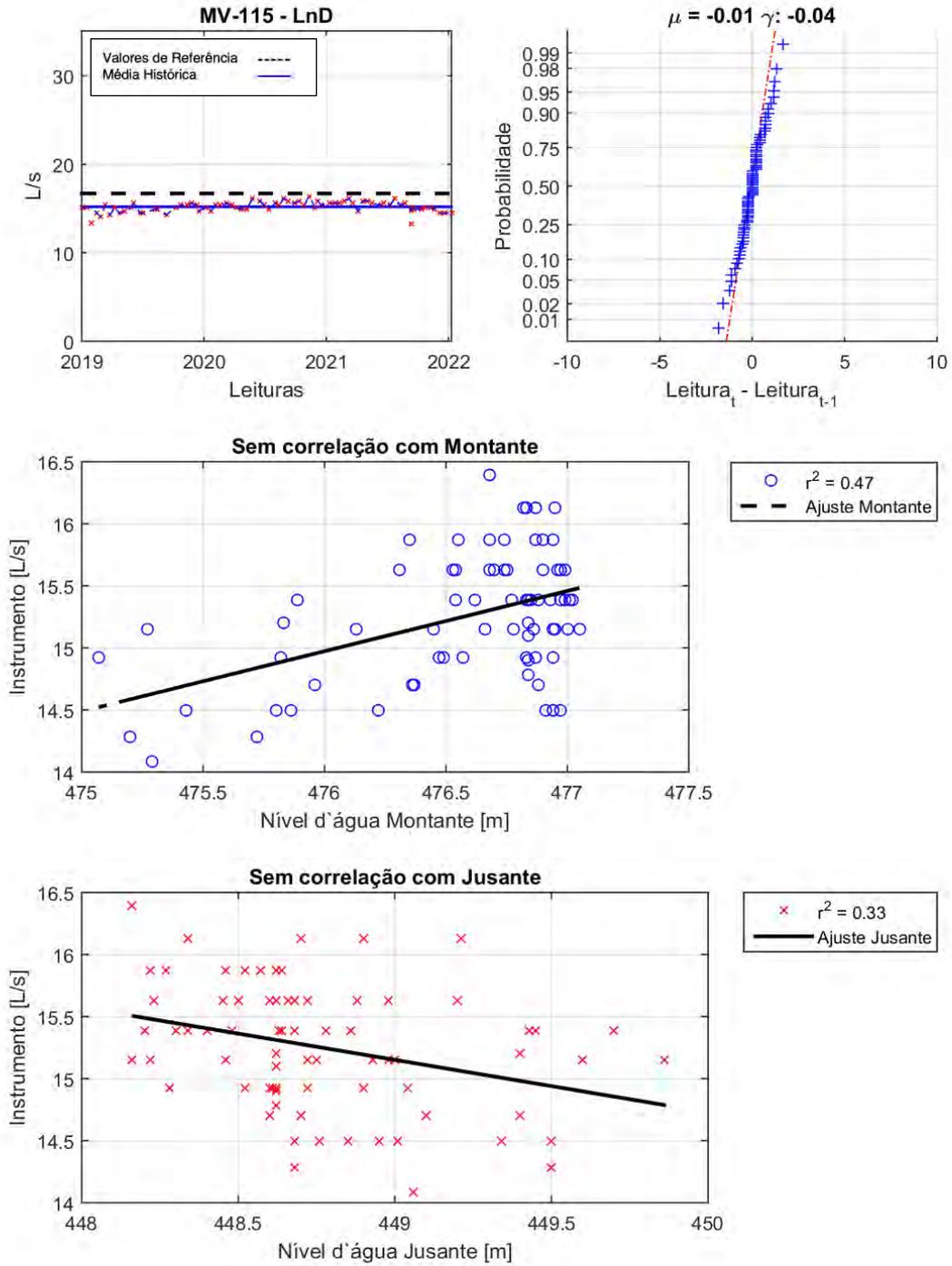


GRÁFICO 18. MV 115 - LND.

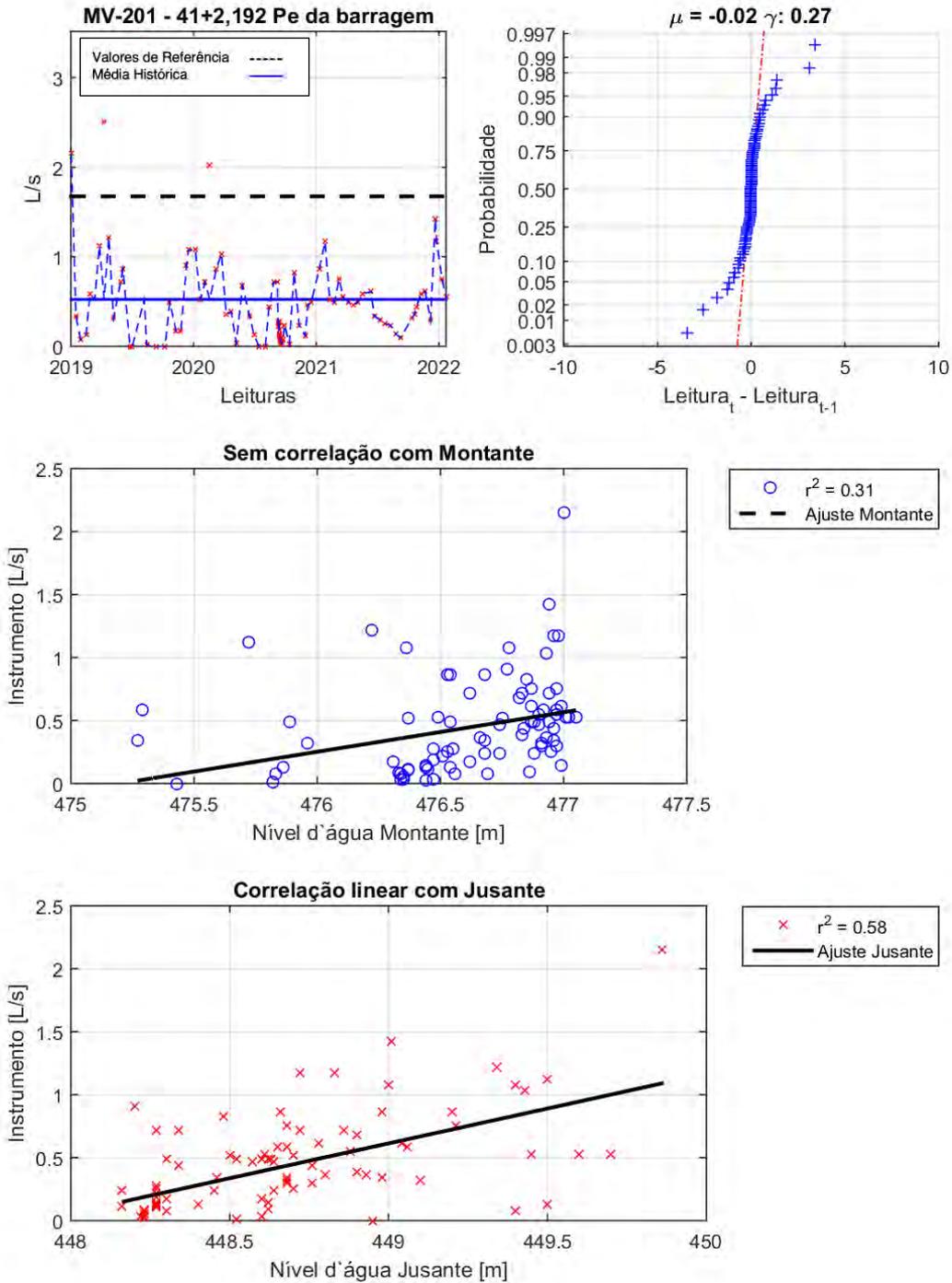


GRÁFICO 19. MV 201 - 41+2,192 PE DA BARRAGEM.

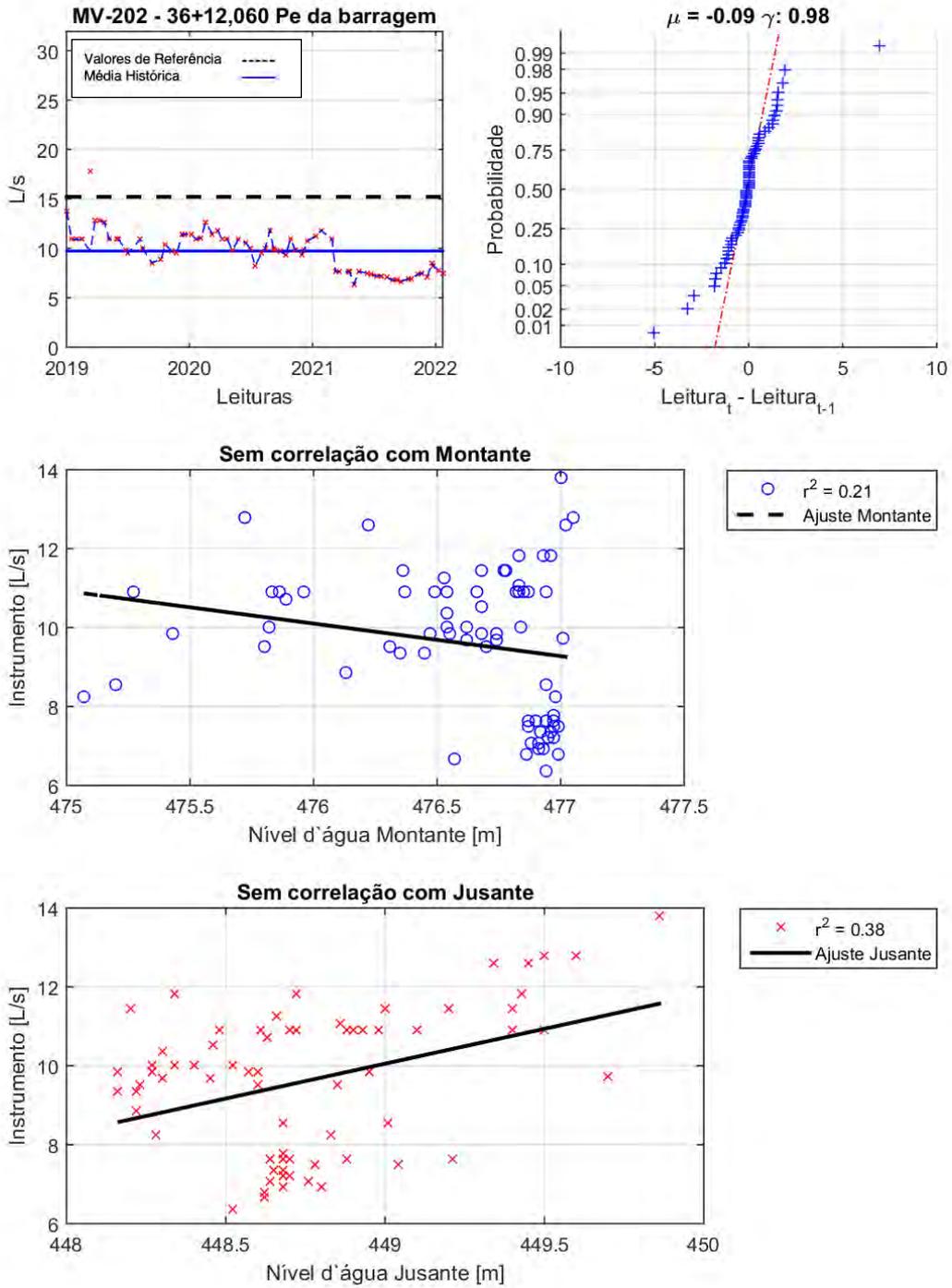


GRÁFICO 20. MV 202 - 36+12,060 PE DA BARRAGEM.

ANEXO 4. SAÍDAS DO MODELO ESTADÍSTICO - MEDIDORES TRIORTOGONAIS DE JUNTA.

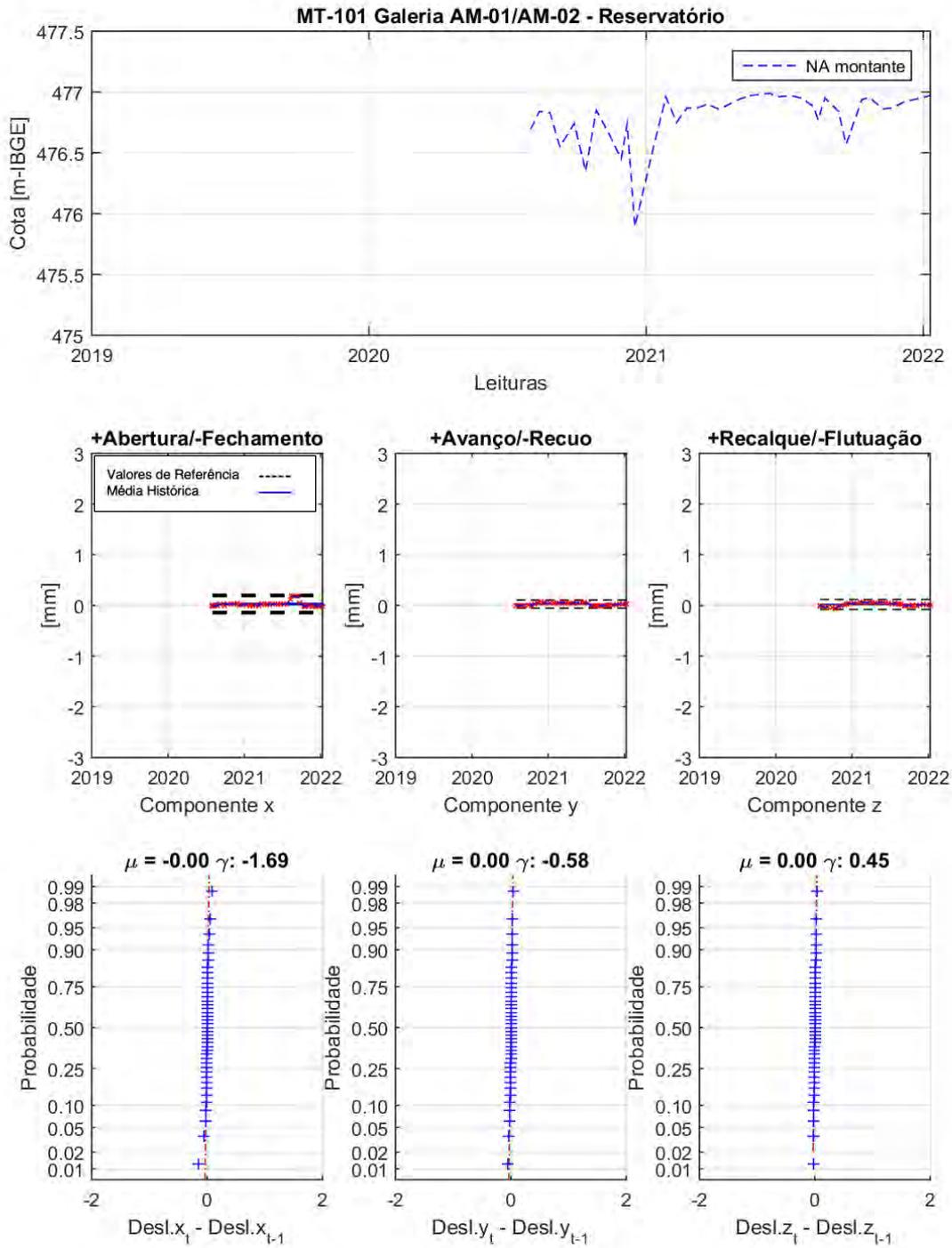


GRÁFICO 21. MT 101 – GALERIA AM-01/AM-02 – RESERVATORIO

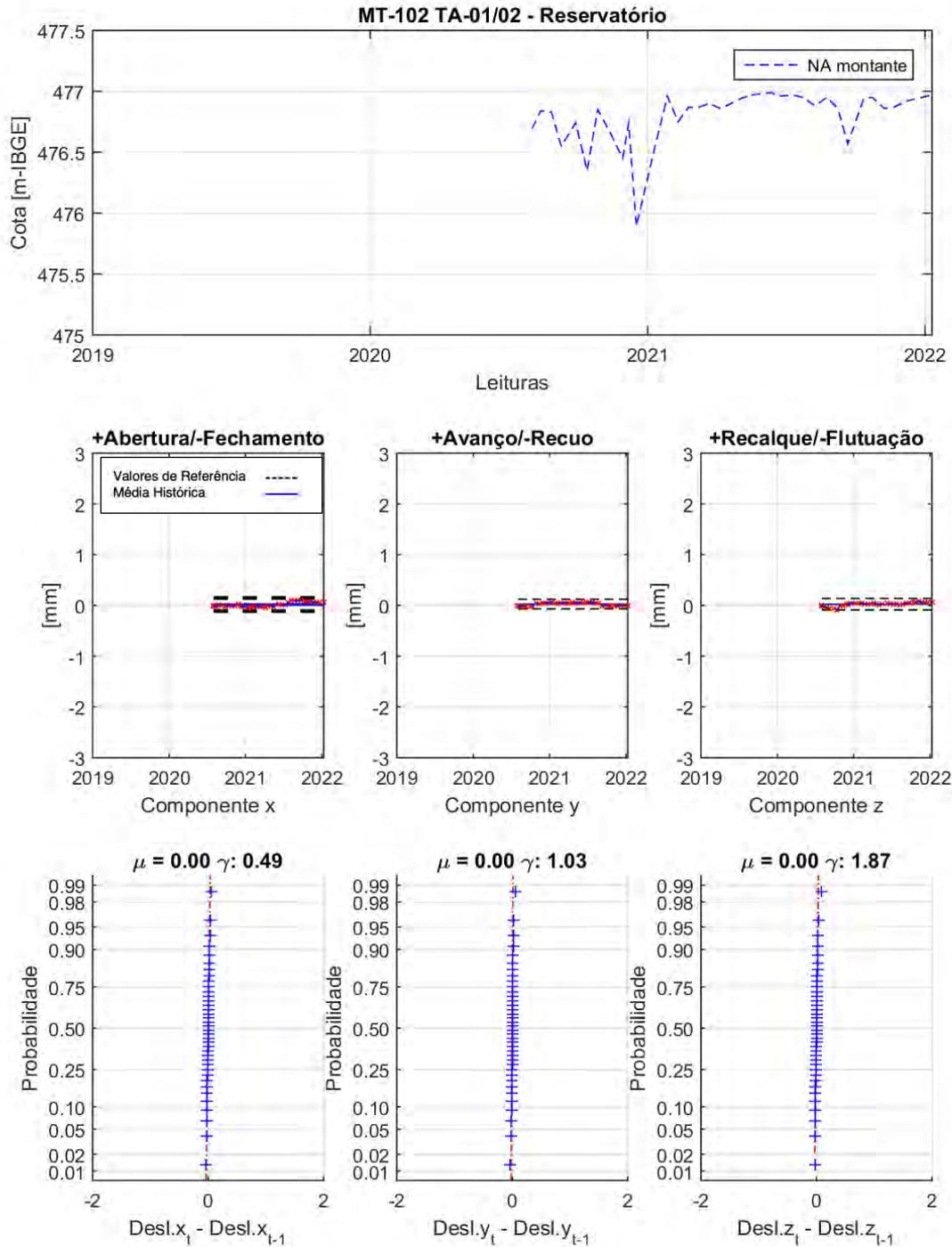


GRÁFICO 22. MT 102 – TA-01/TA-02 – RESERVATORIO

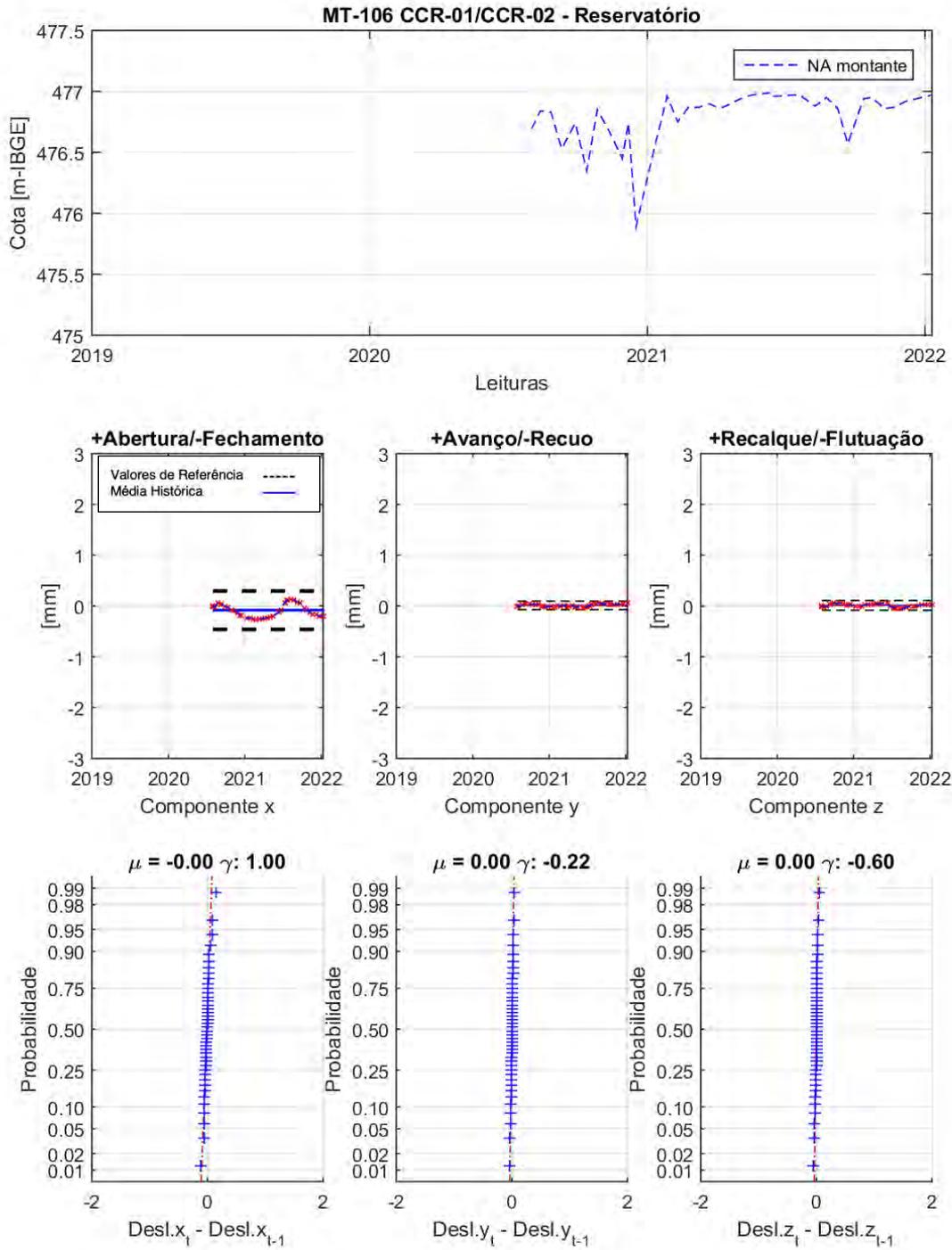


GRÁFICO 23. MT 106 - CCR 01/CCR 02 – RESERVATORIO

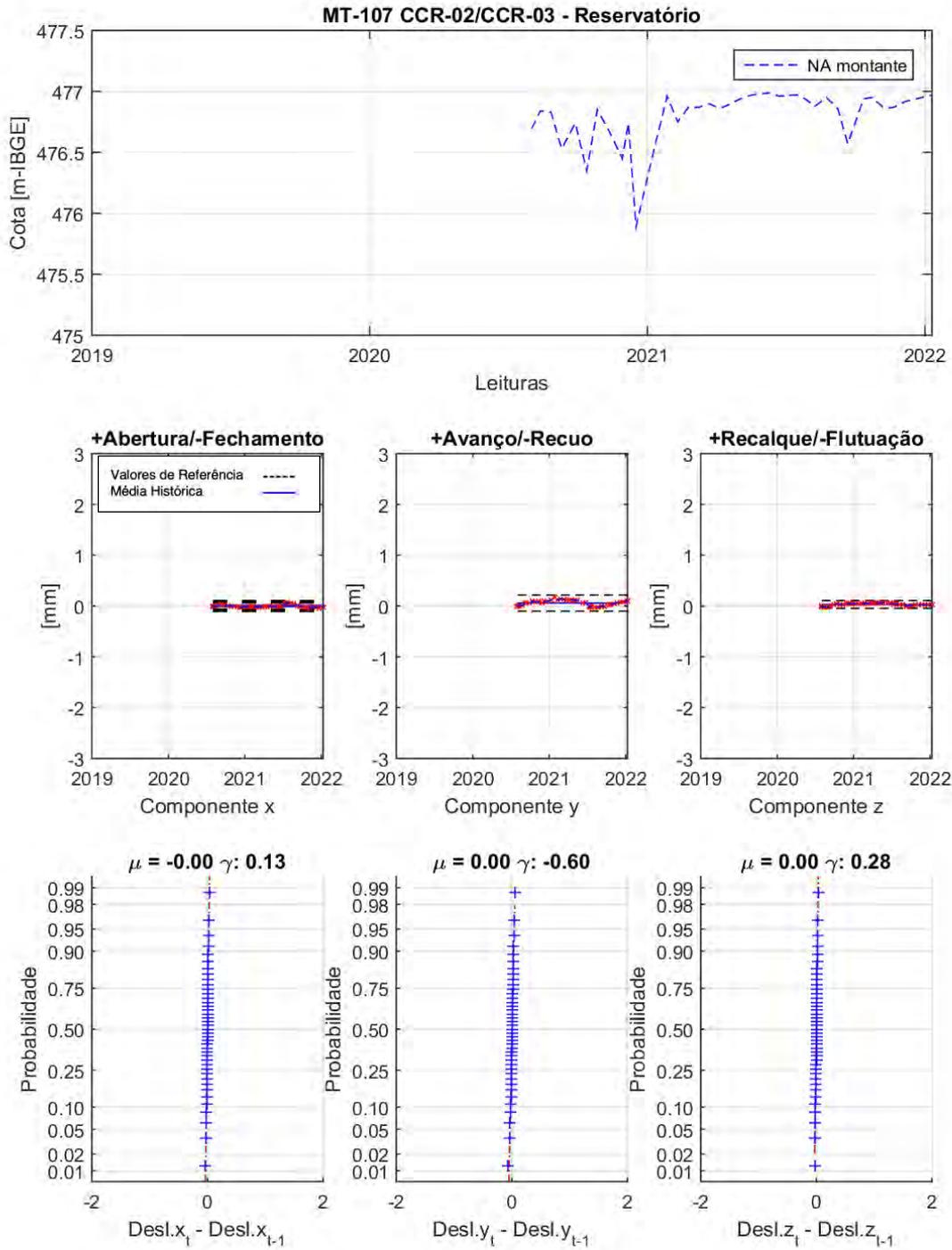


GRÁFICO 24. MT 107 - CCR 02/CCR 03 – RESERVATORIO

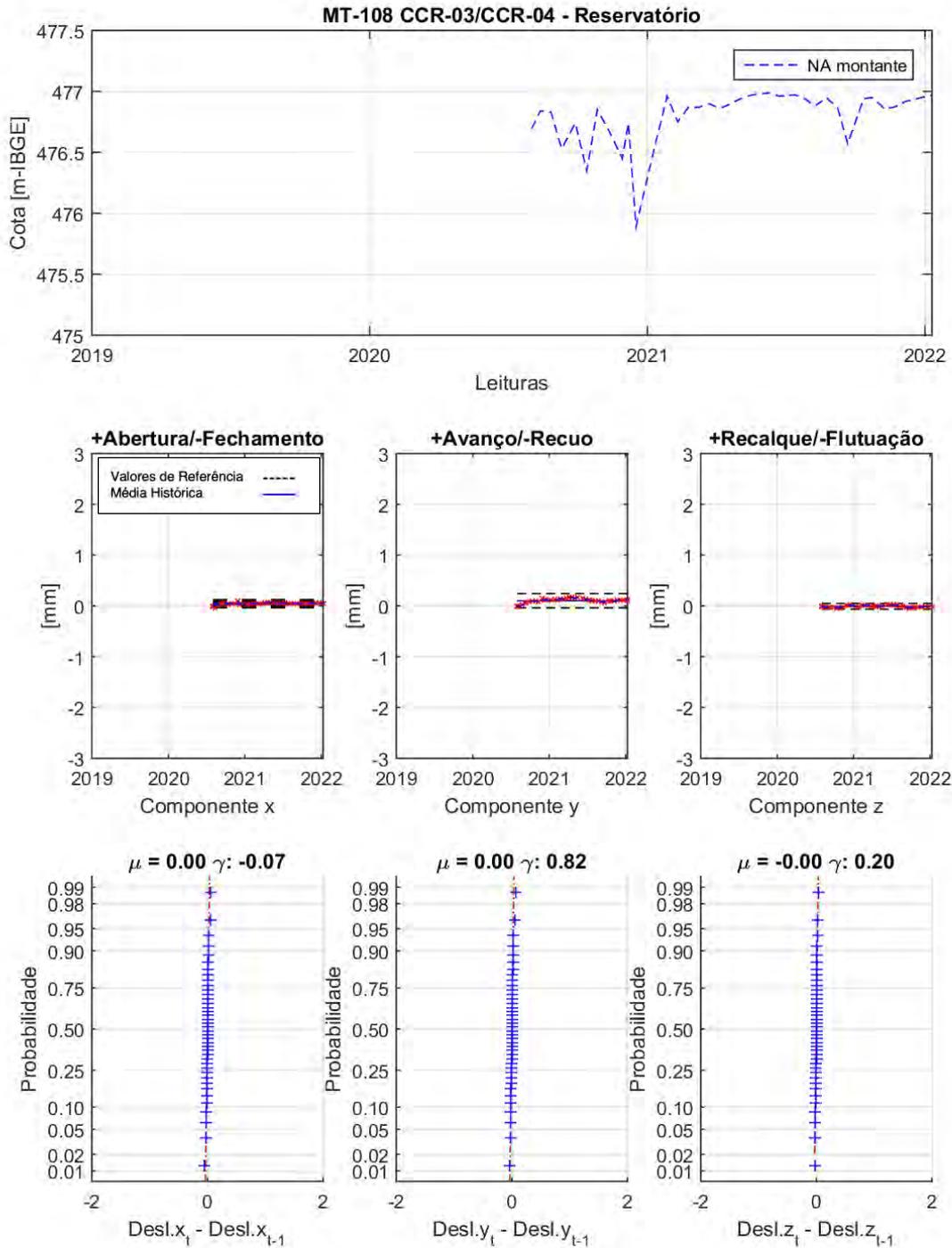


GRÁFICO 25. MT 108 - CCR 03/CCR 04 – RESERVATORIO

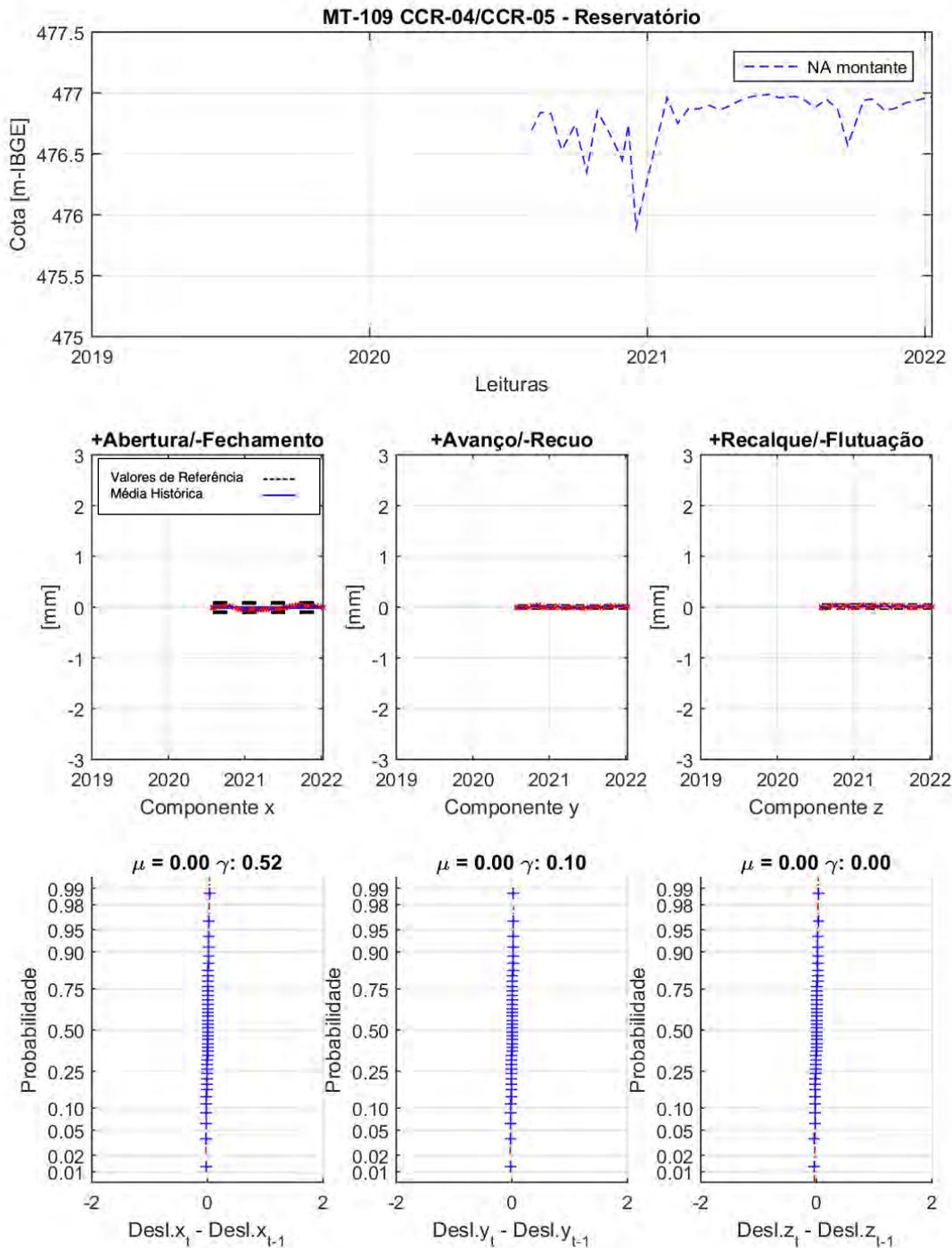


GRÁFICO 26. MT 109 - CCR 04/CCR 05 – RESERVATORIO

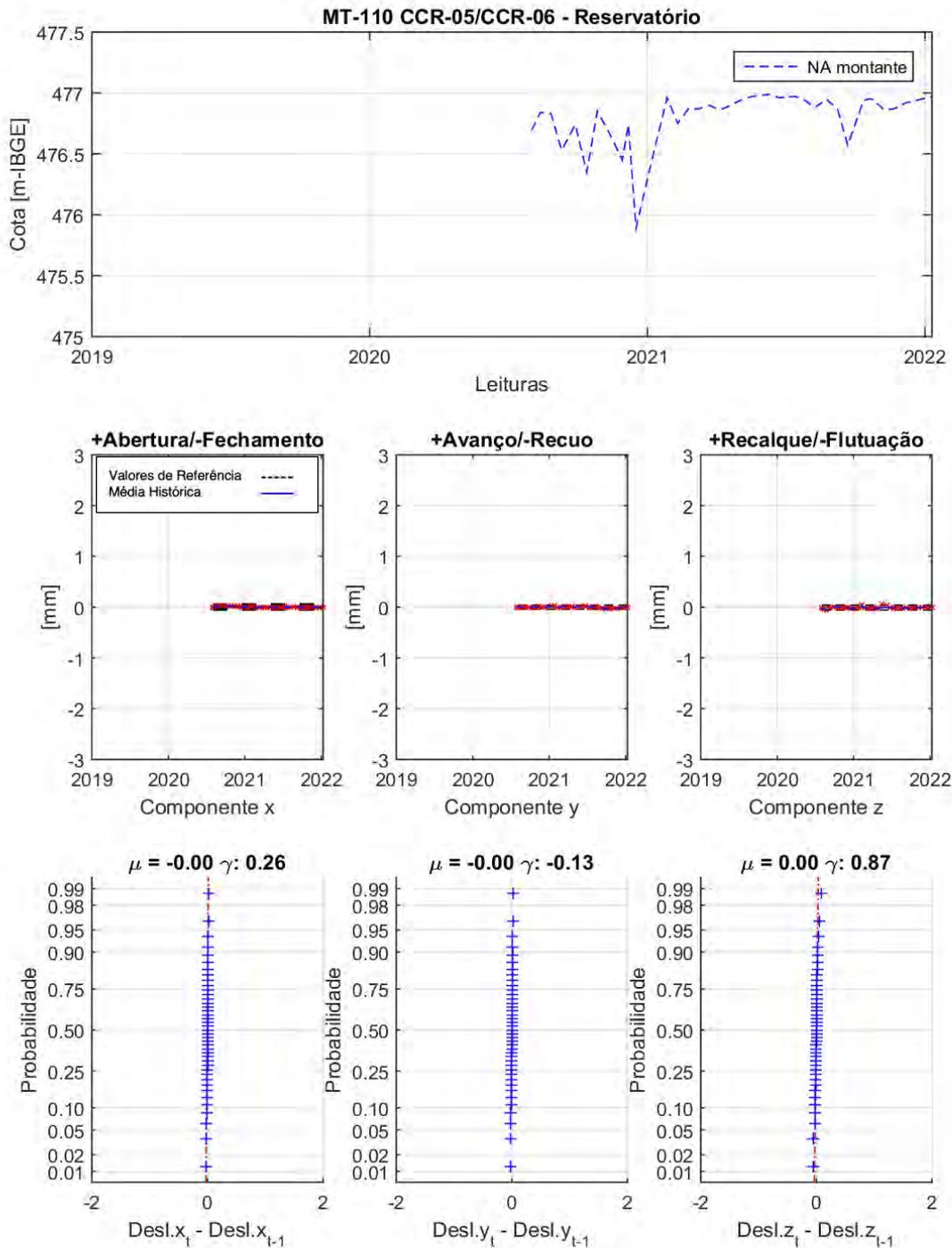


GRÁFICO 27. MT 110 - CCR 05/CCR 06 – RESERVATORIO

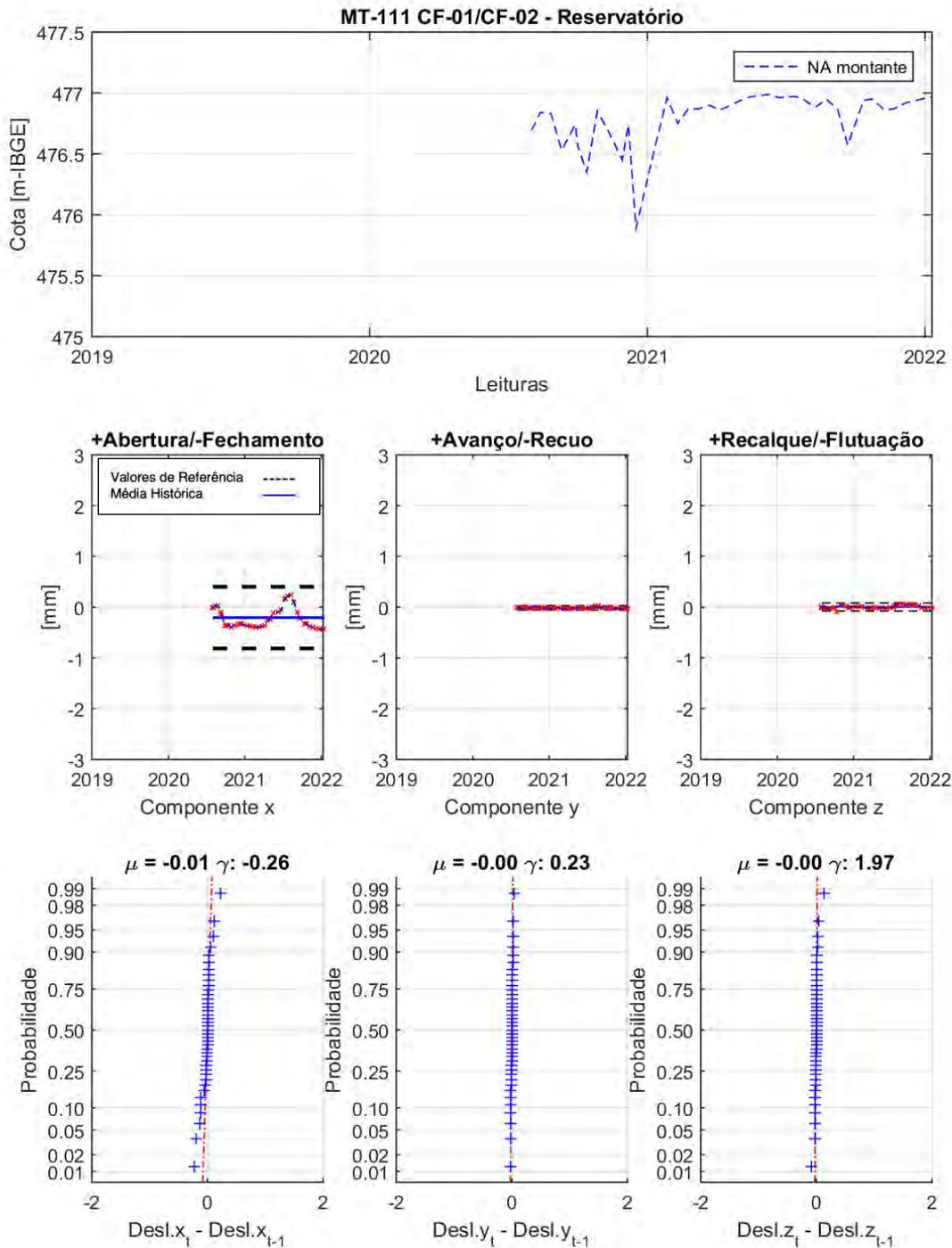


GRÁFICO 28. MT 111 - CF 01/CF 02 – RESERVATORIO

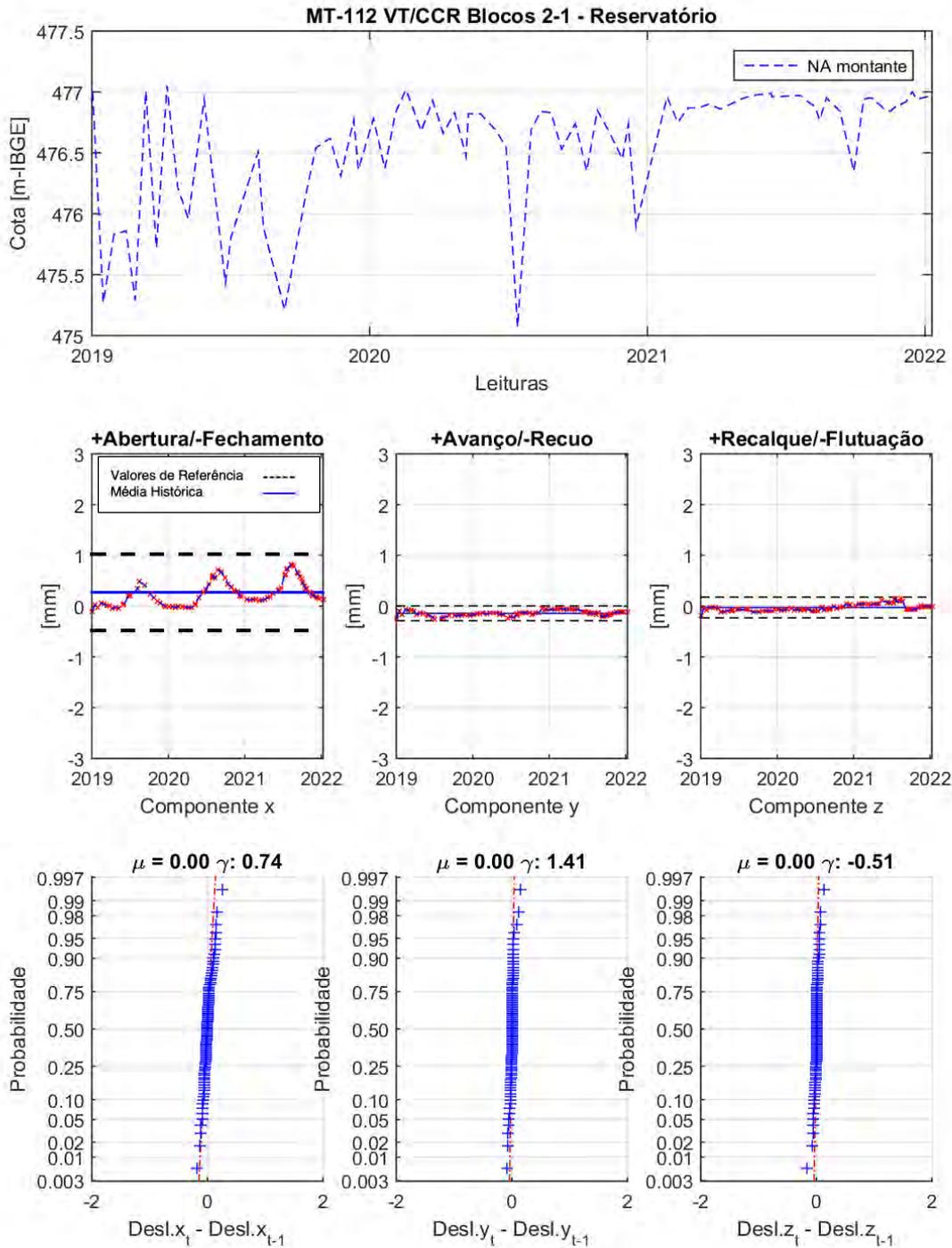


GRÁFICO 29. MT 112 - VT/CCR BLOCOS 2-1 DO RESERVATÓRIO.

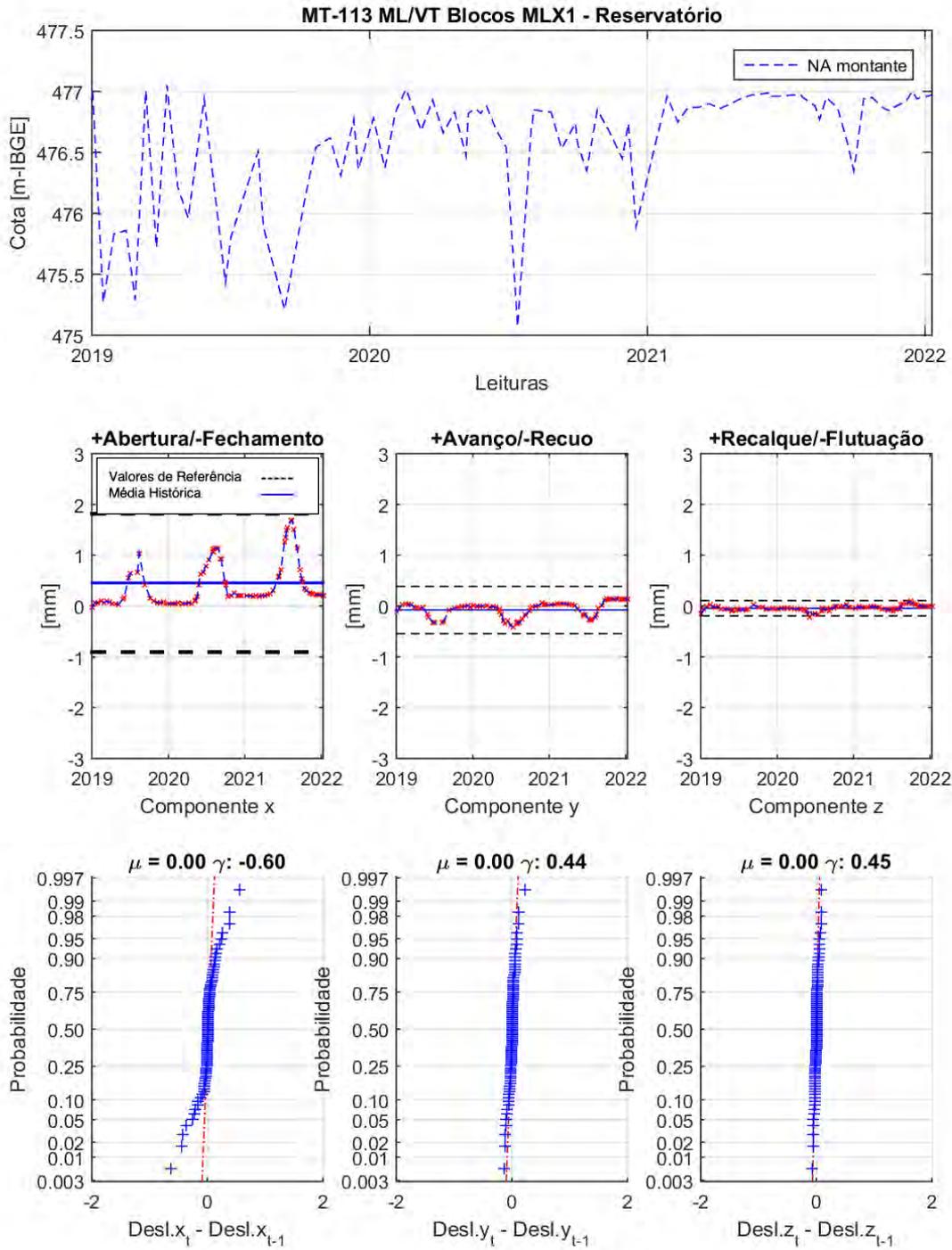


GRÁFICO 30. MT 113 - ML/VT BLOCOS MLX1 DO RESERVATÓRIO.

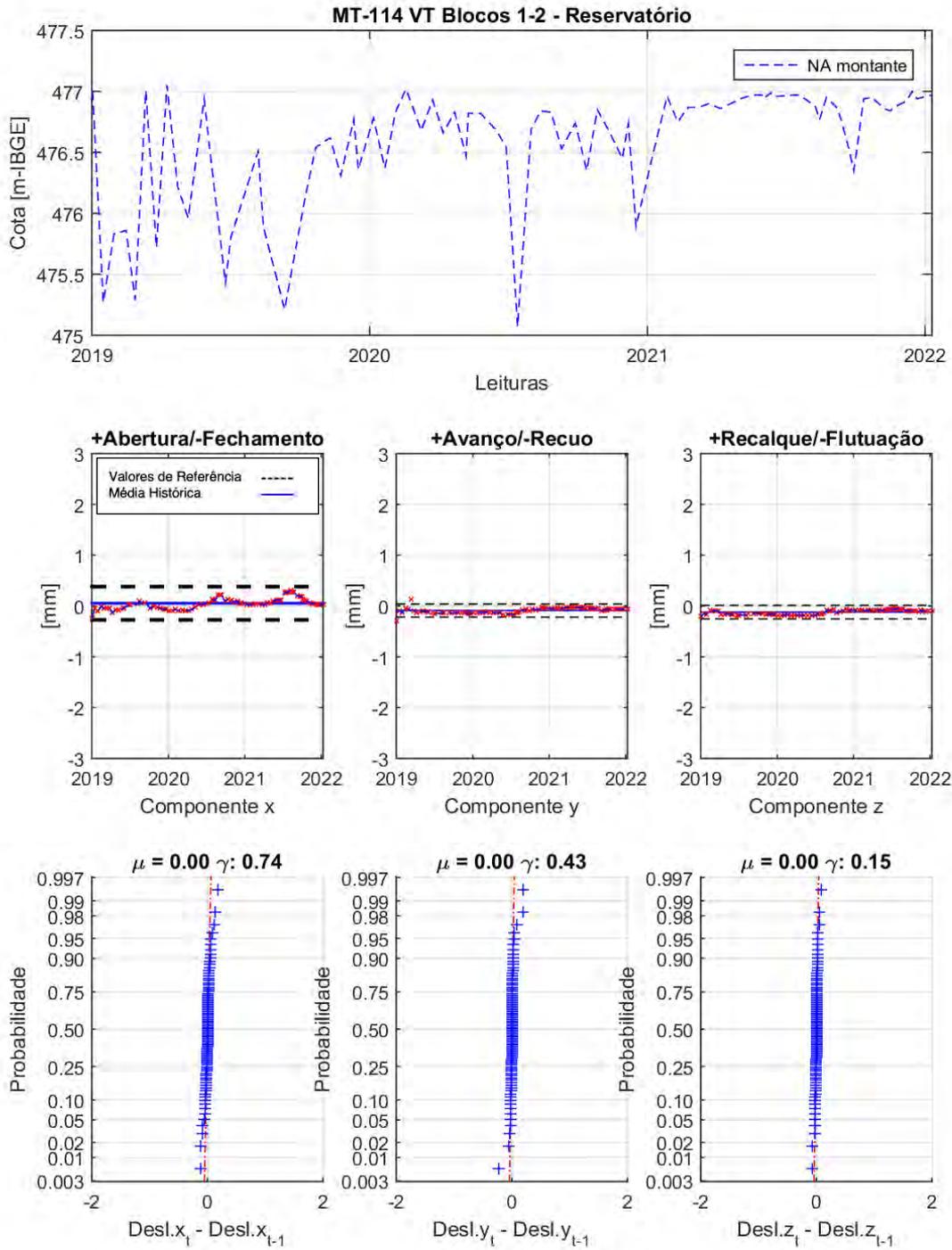


GRÁFICO 31. MT 114 - VT BLOCOS 1-2 DO RESERVATÓRIO.

ANEXO 5. SAÍDAS DO MODELO ESTATÍSTICO - PIEZÔMETROS DE TUBO.

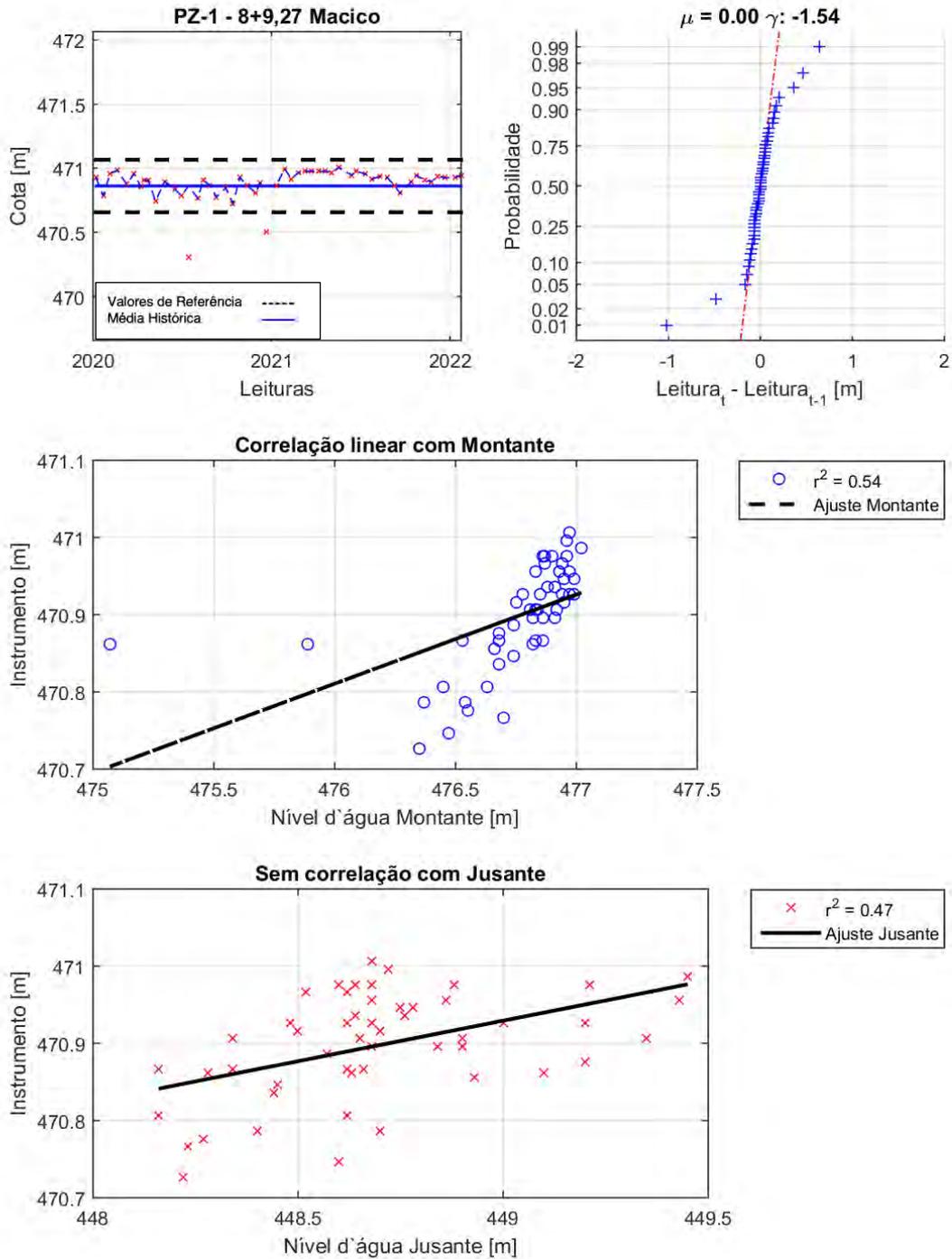


GRÁFICO 32. PZ 1 - 8+9,27 MACIÇO.

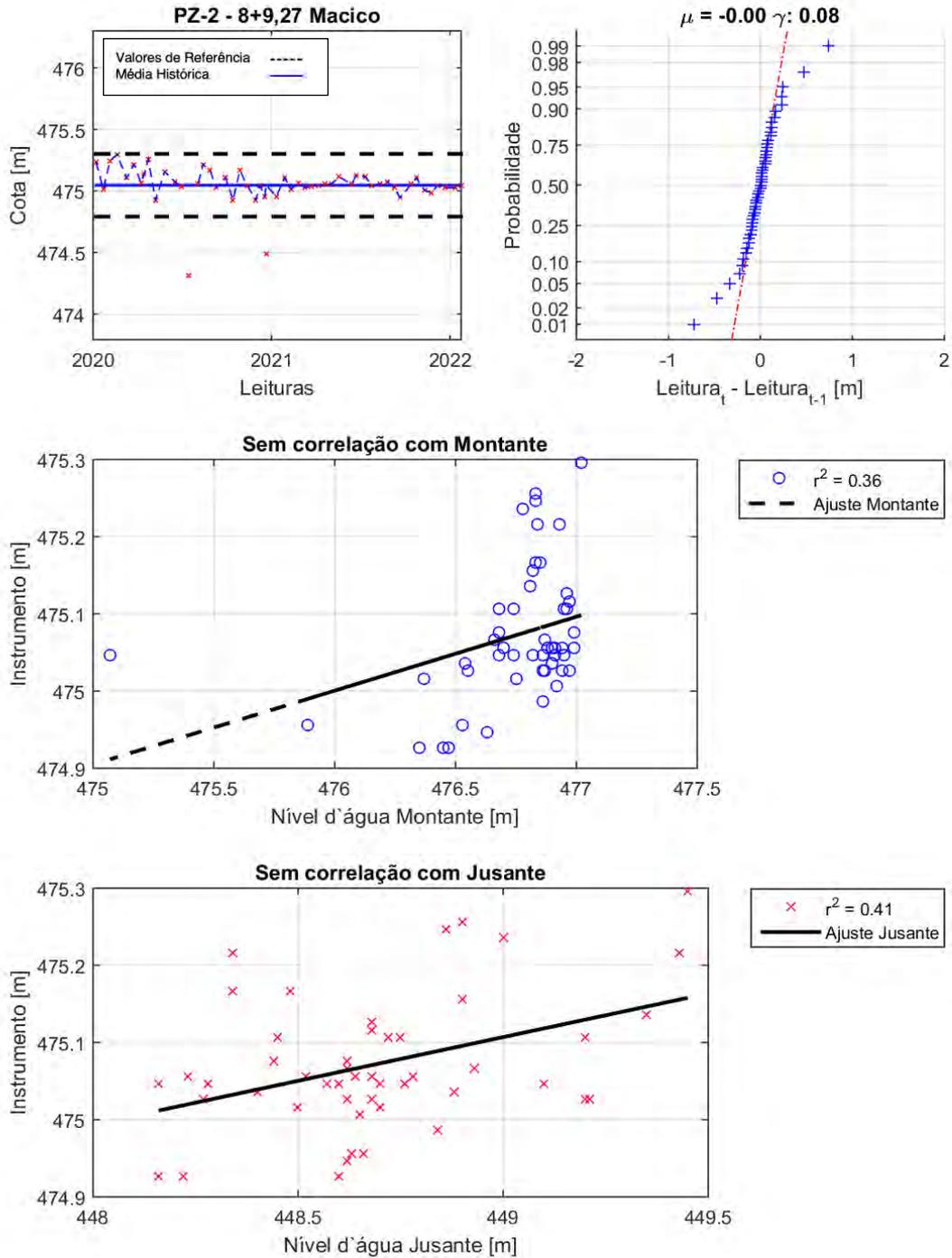


GRÁFICO 33. PZ 2 - 8+9,27 MACIÇO.

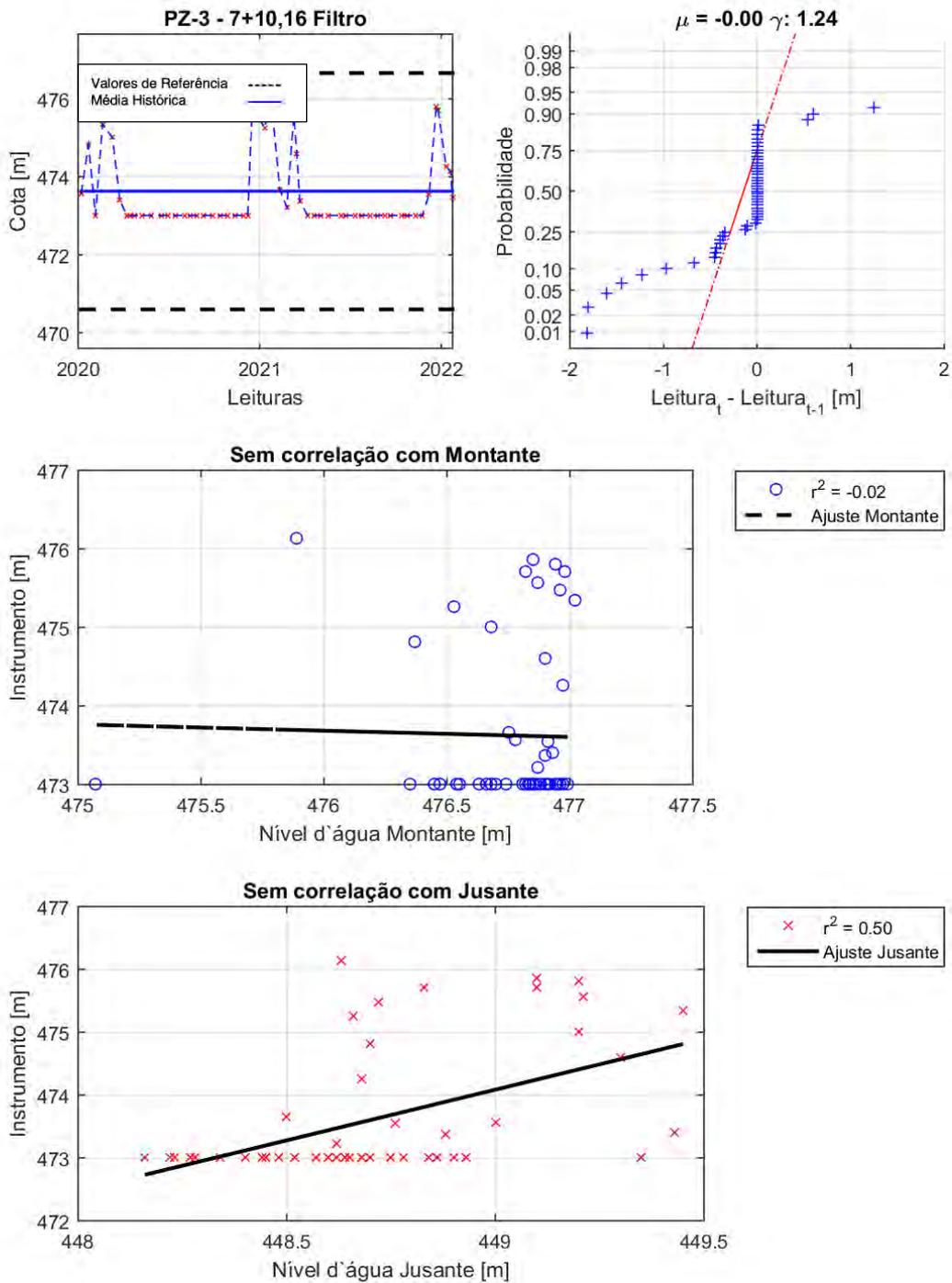


GRÁFICO 34. PZ 3 - 7+10,16 FILTRO.

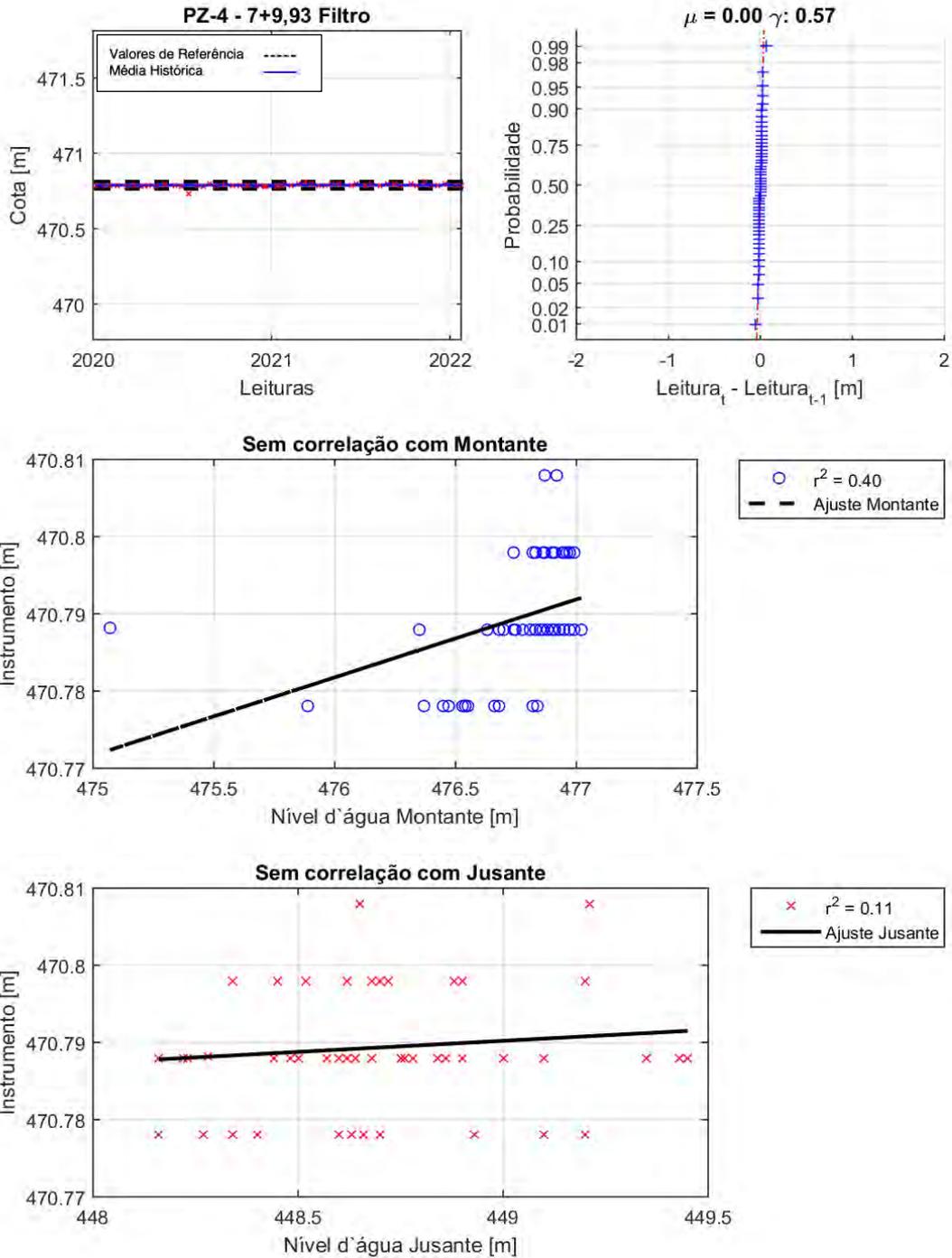


GRÁFICO 35. PZ 4 - 7+9,93 FILTRO.

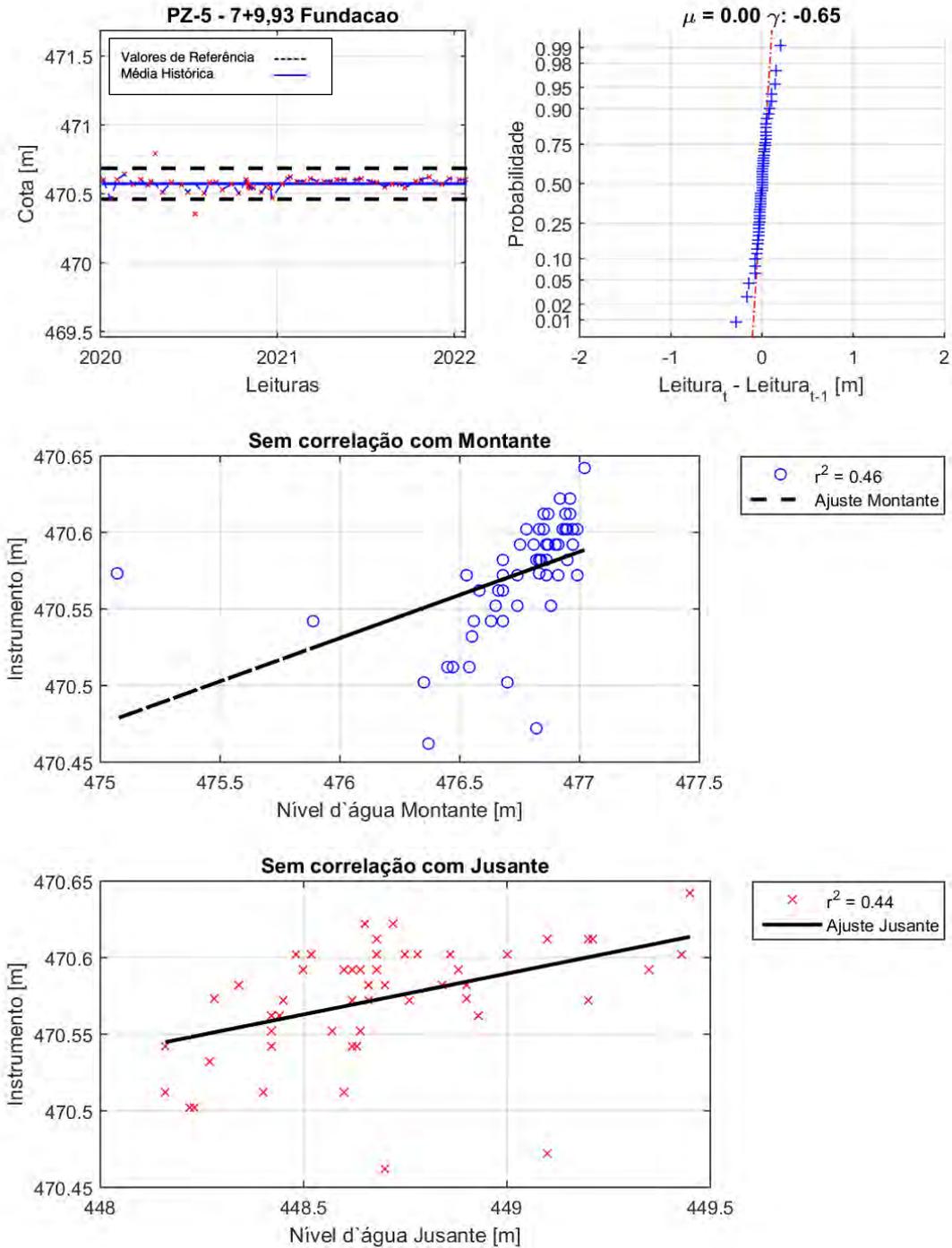


GRÁFICO 36. PZ 5 - 7+9,93 FUNDAÇÃO.

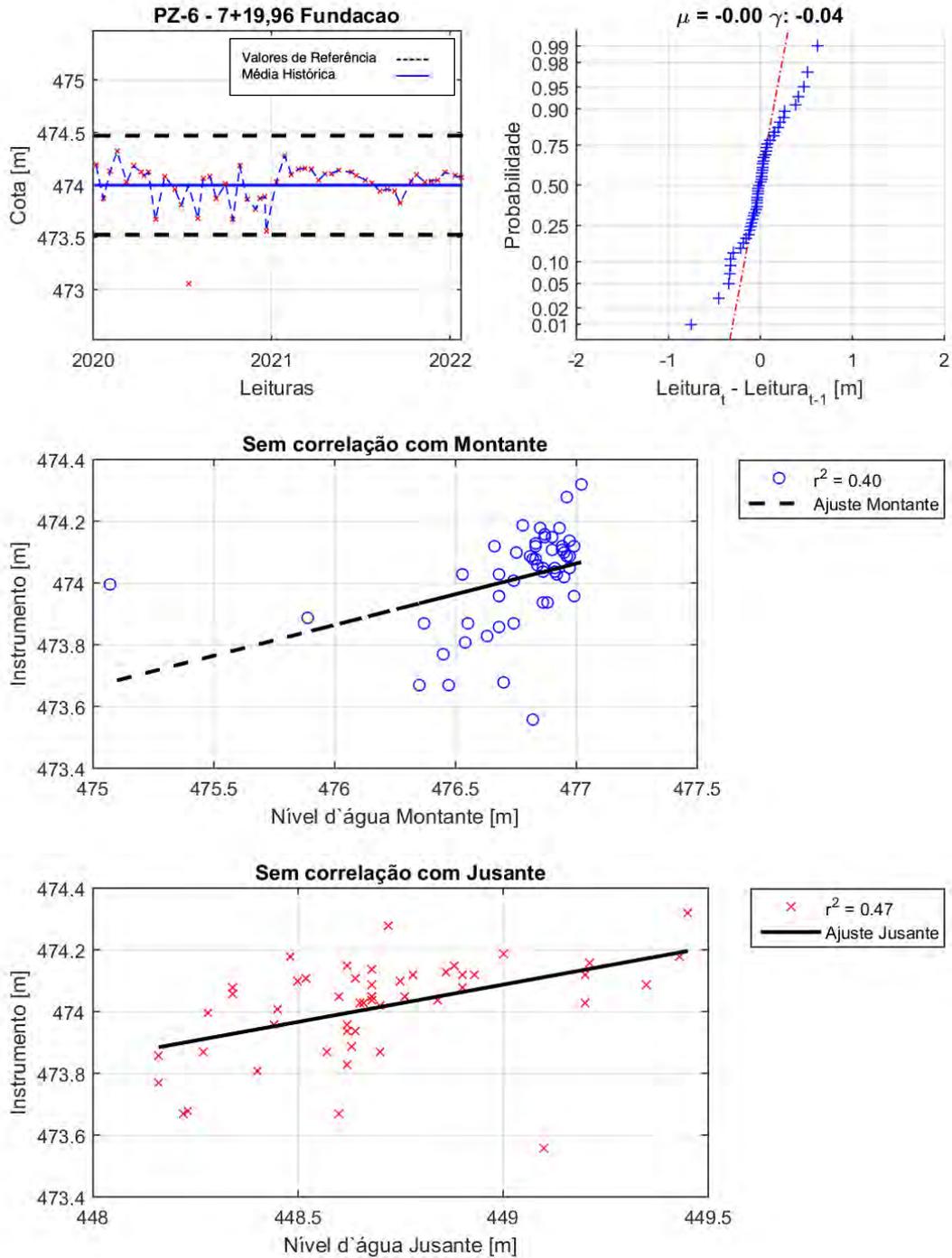


GRÁFICO 37. PZ 6 - 7+ 19,96 FUNDAÇÃO.

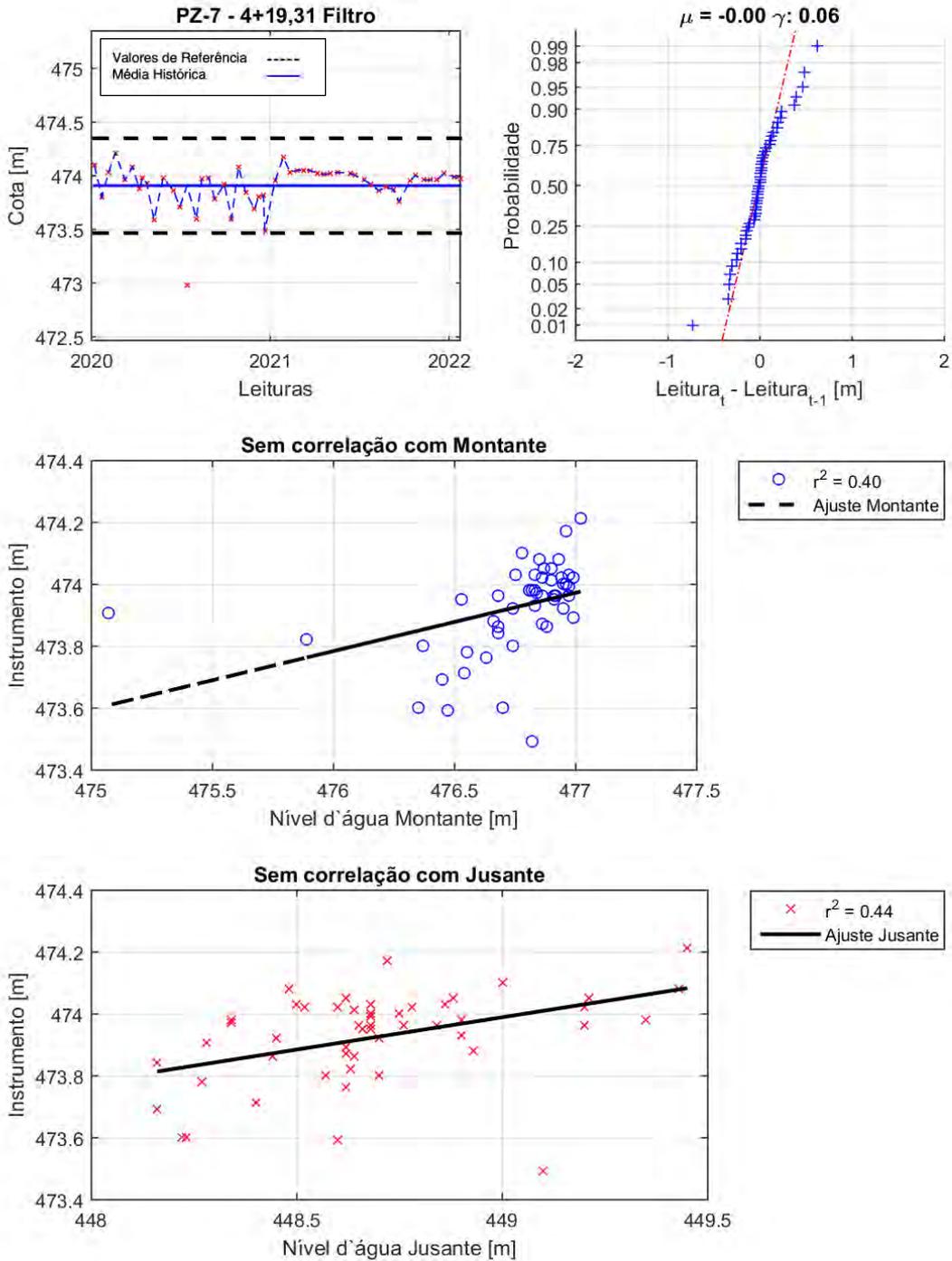


GRÁFICO 38. PZ 7 - 4+ 19,31 FILTRO.

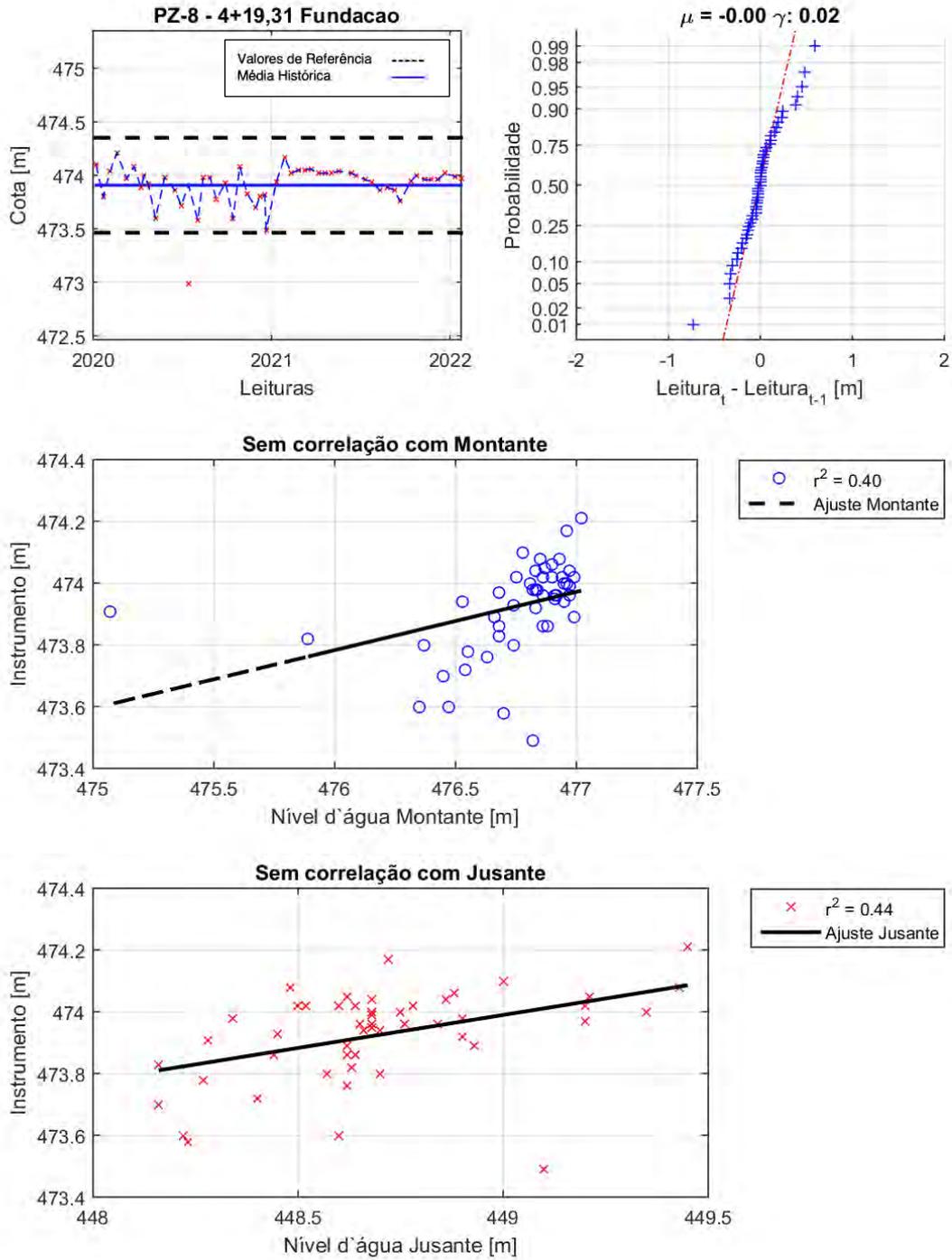


GRÁFICO 39. PZ 8 - 4+ 19,31 FUNDAÇÃO.

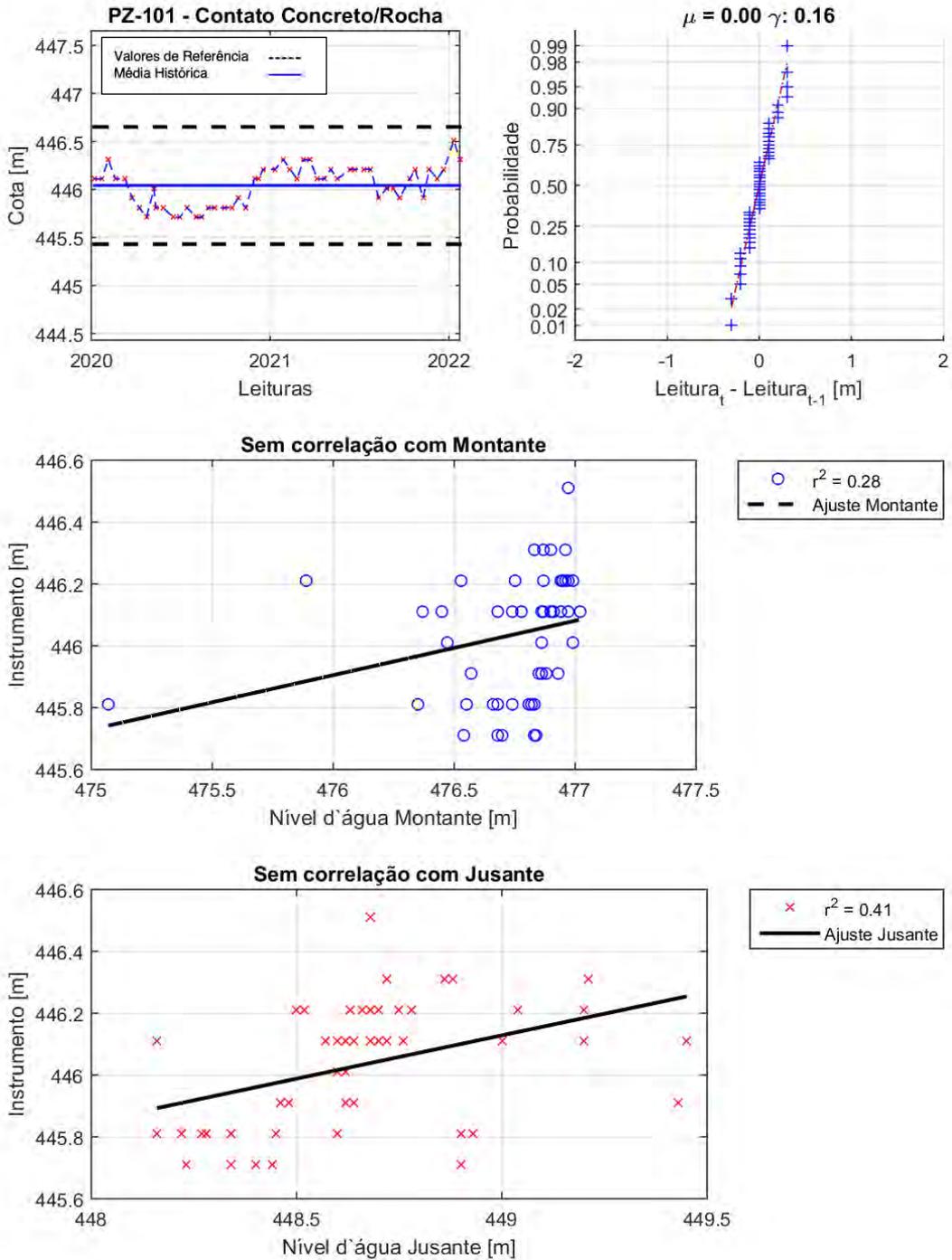


GRÁFICO 40. PZ 101 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

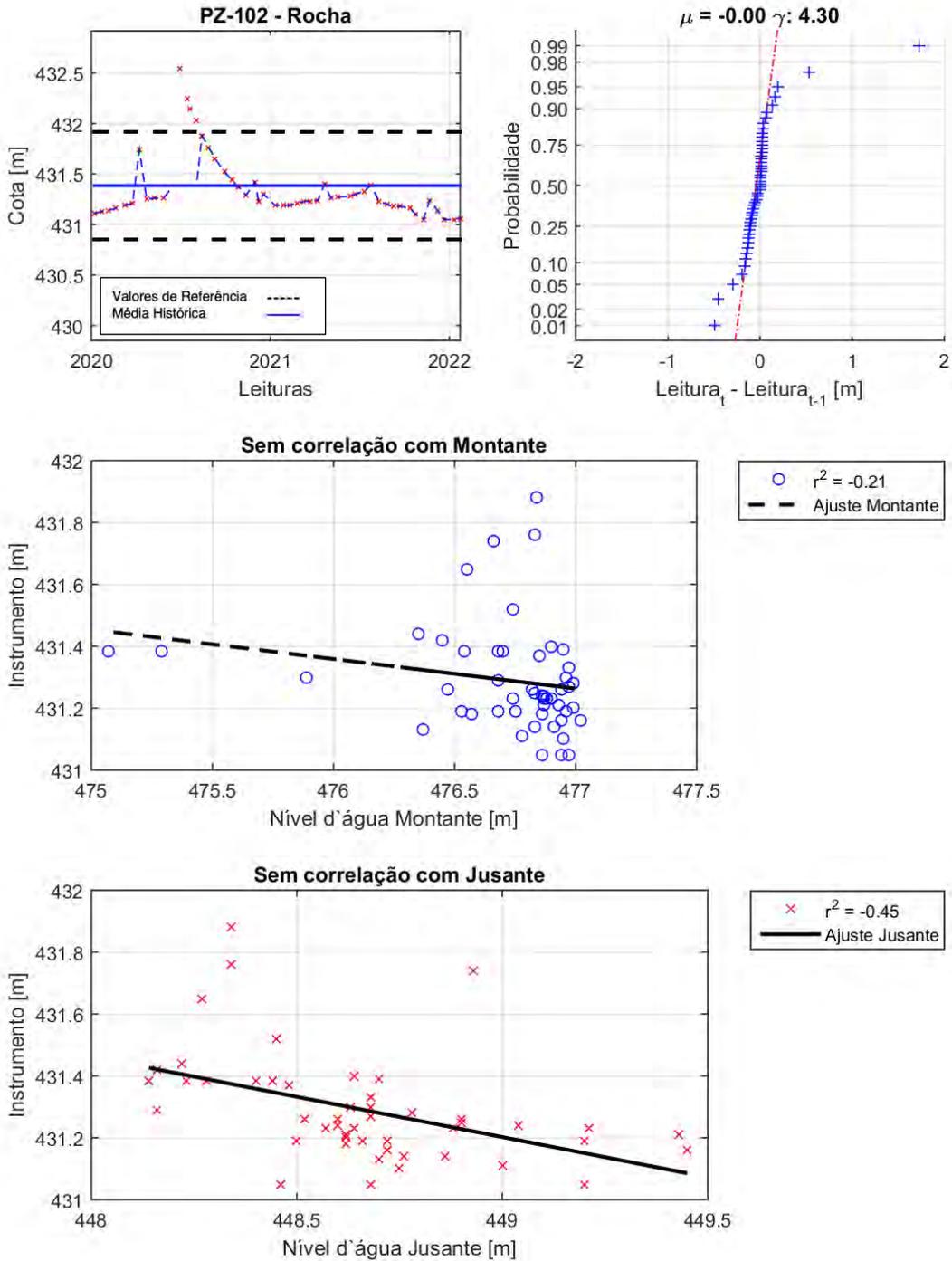


GRÁFICO 41. PZ 102 - ROCHA.

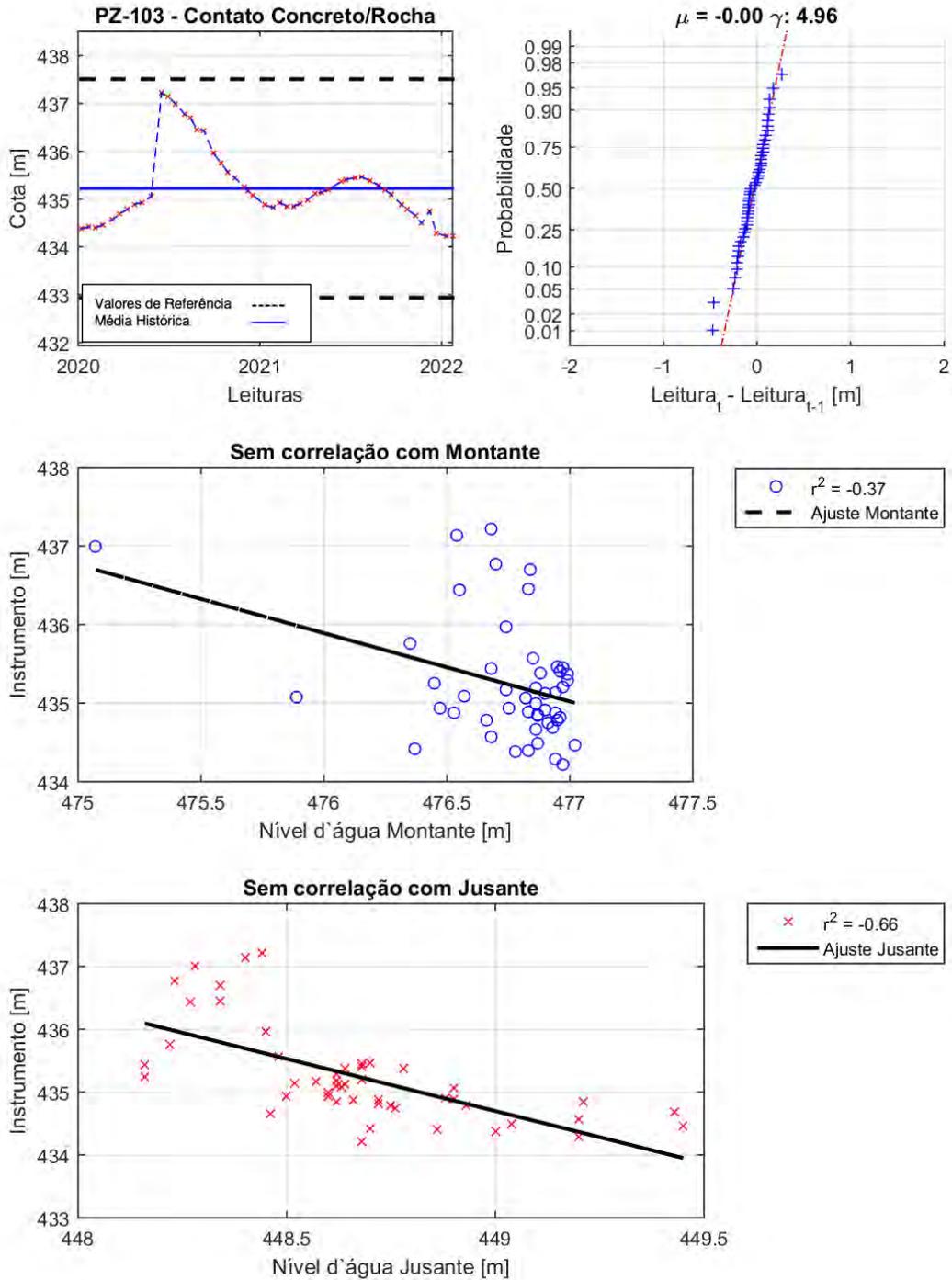


GRÁFICO 42. PZ 103 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

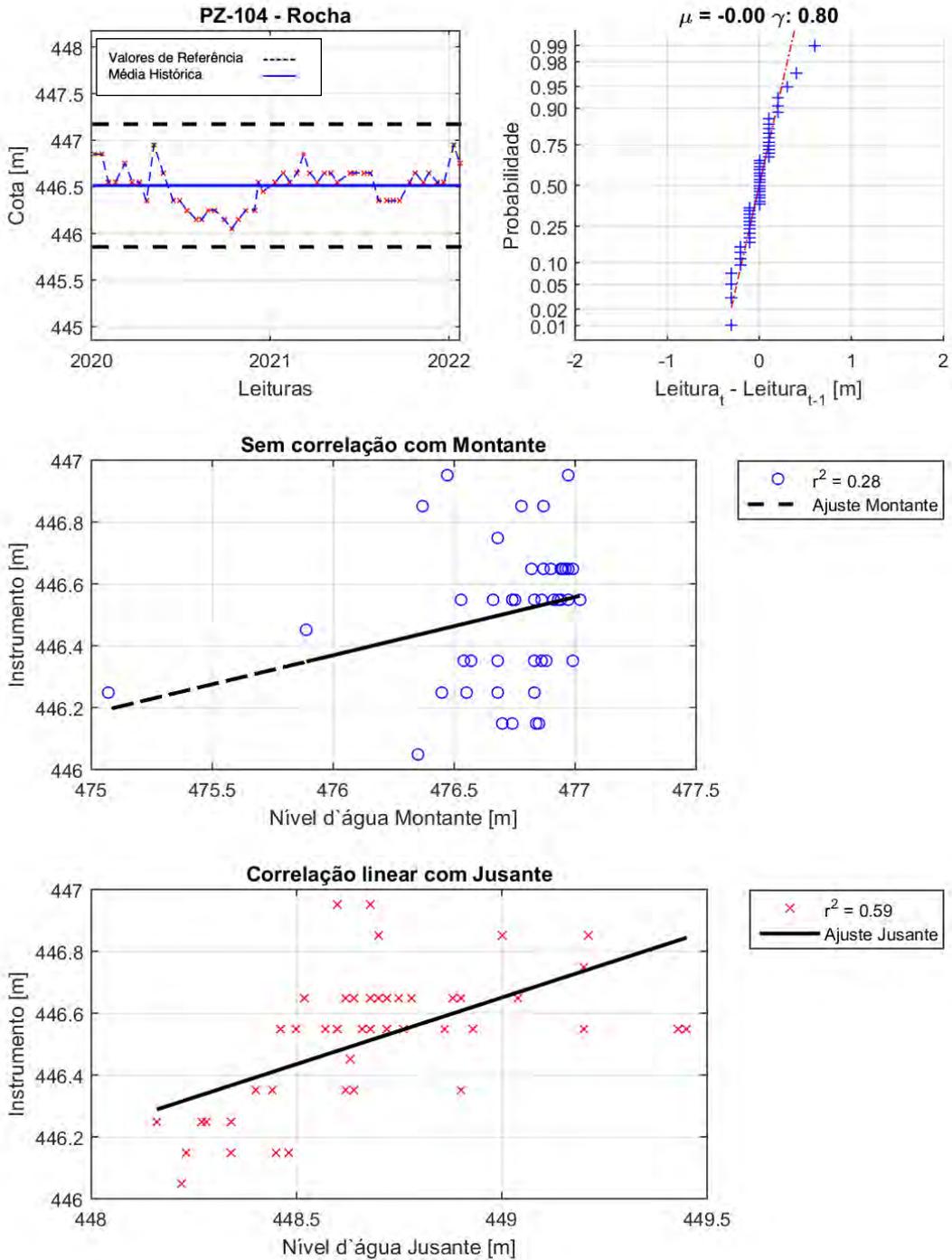


GRÁFICO 43. PZ 104 - ROCHA.

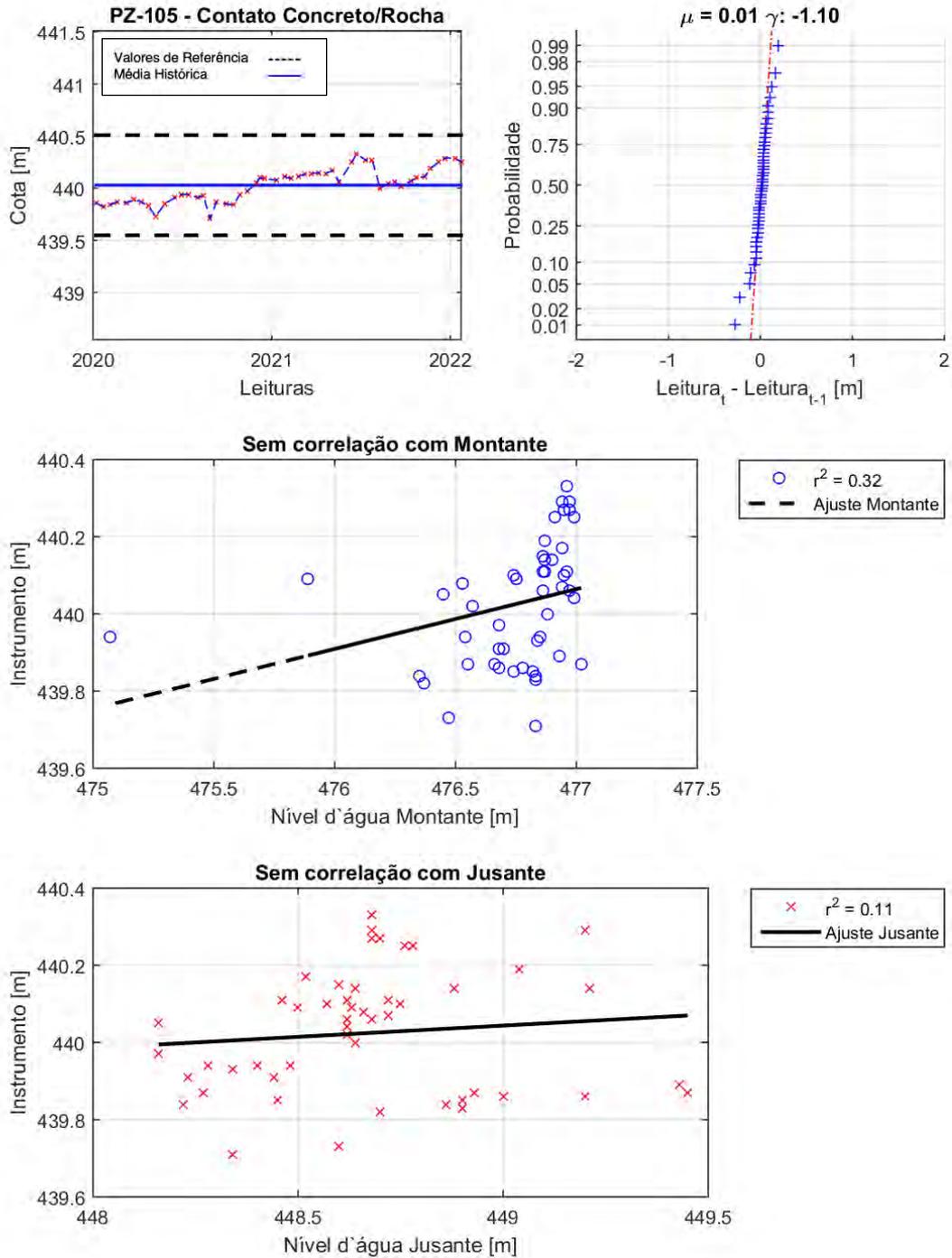


GRÁFICO 44. PZ 105 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

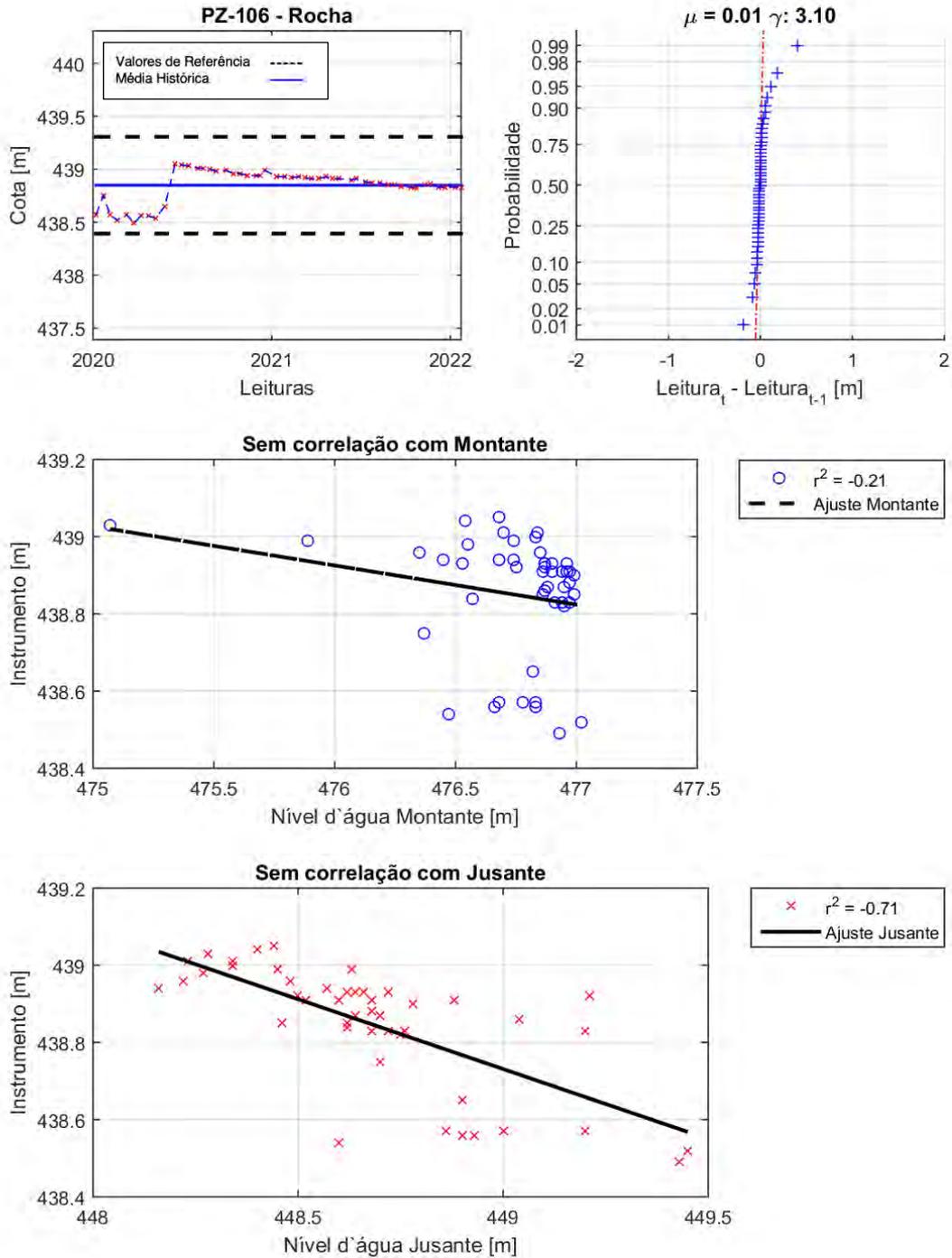


GRÁFICO 45. PZ 106 - ROCHA.

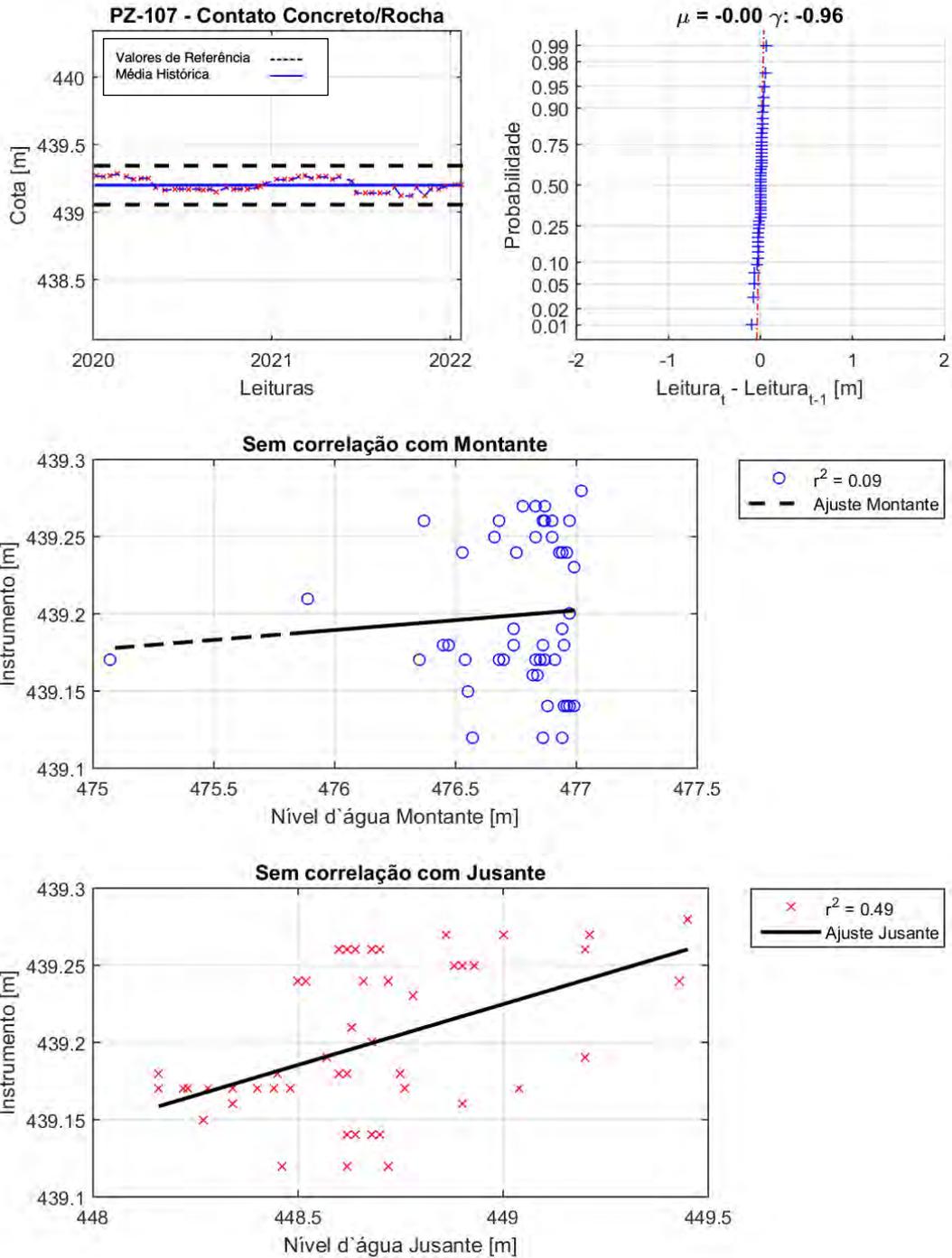


GRÁFICO 46. PZ 107 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

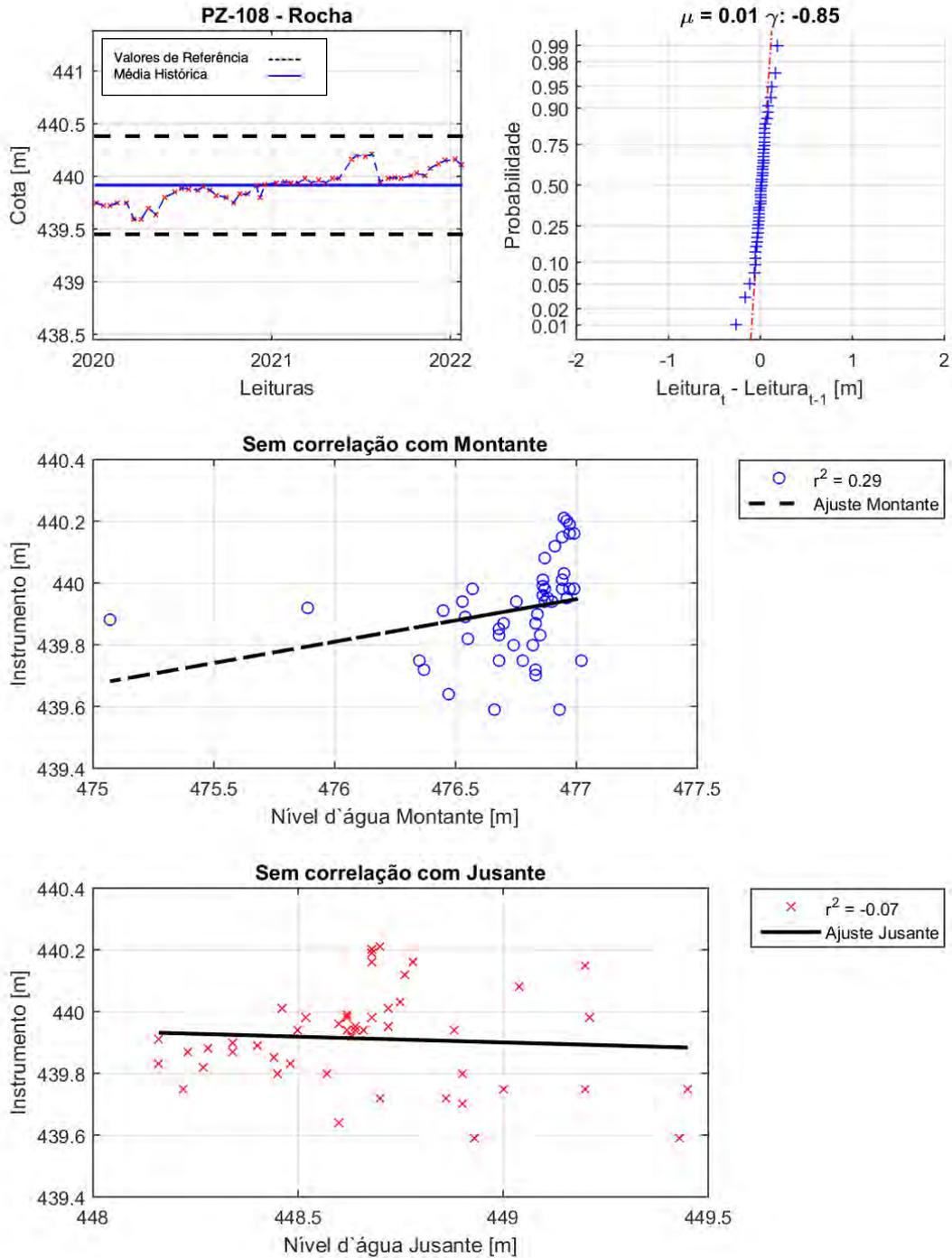


GRÁFICO 47. PZ 108 - ROCHA.

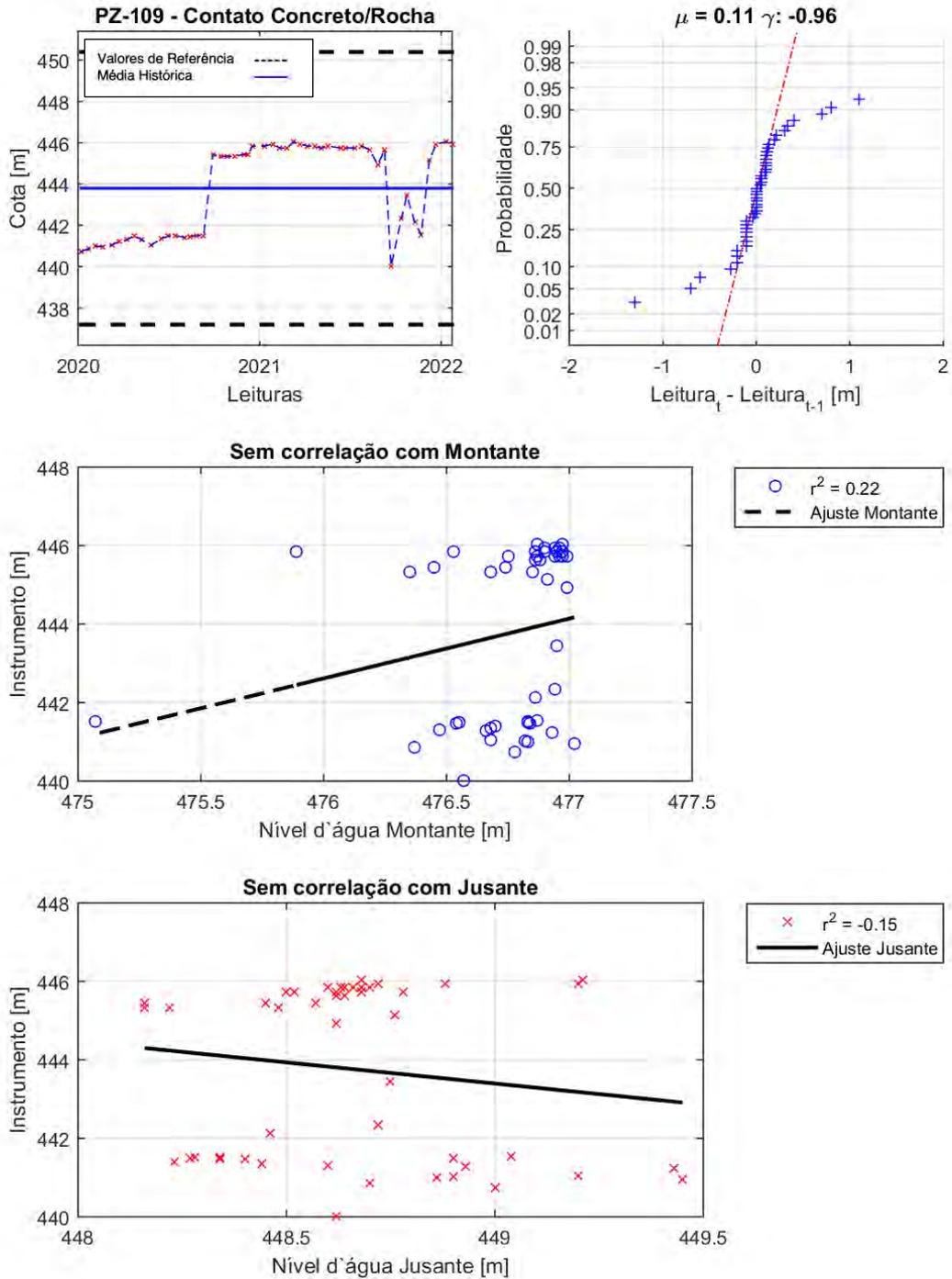


GRÁFICO 48. PZ 109 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

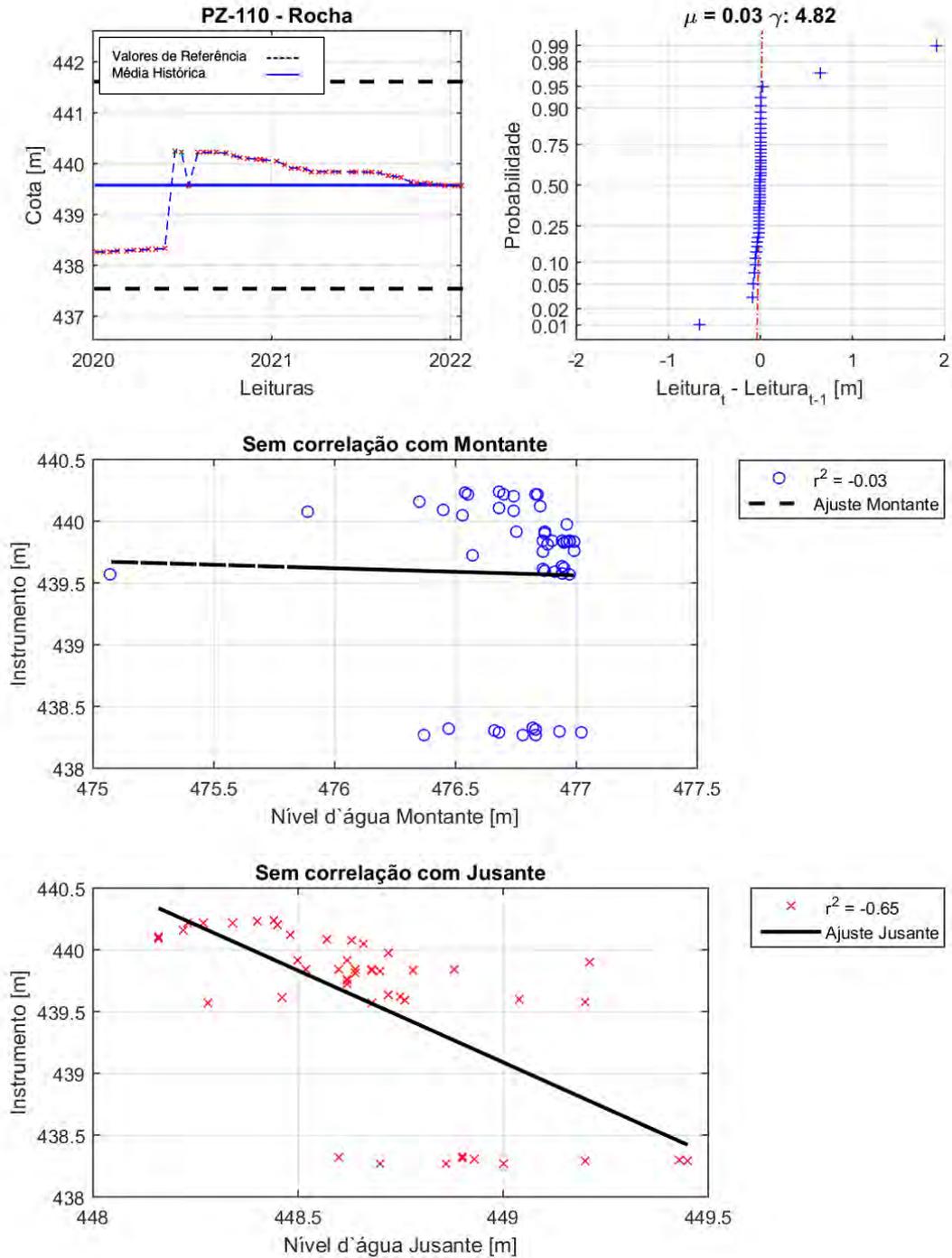


GRÁFICO 49. PZ 110 - ROCHA.

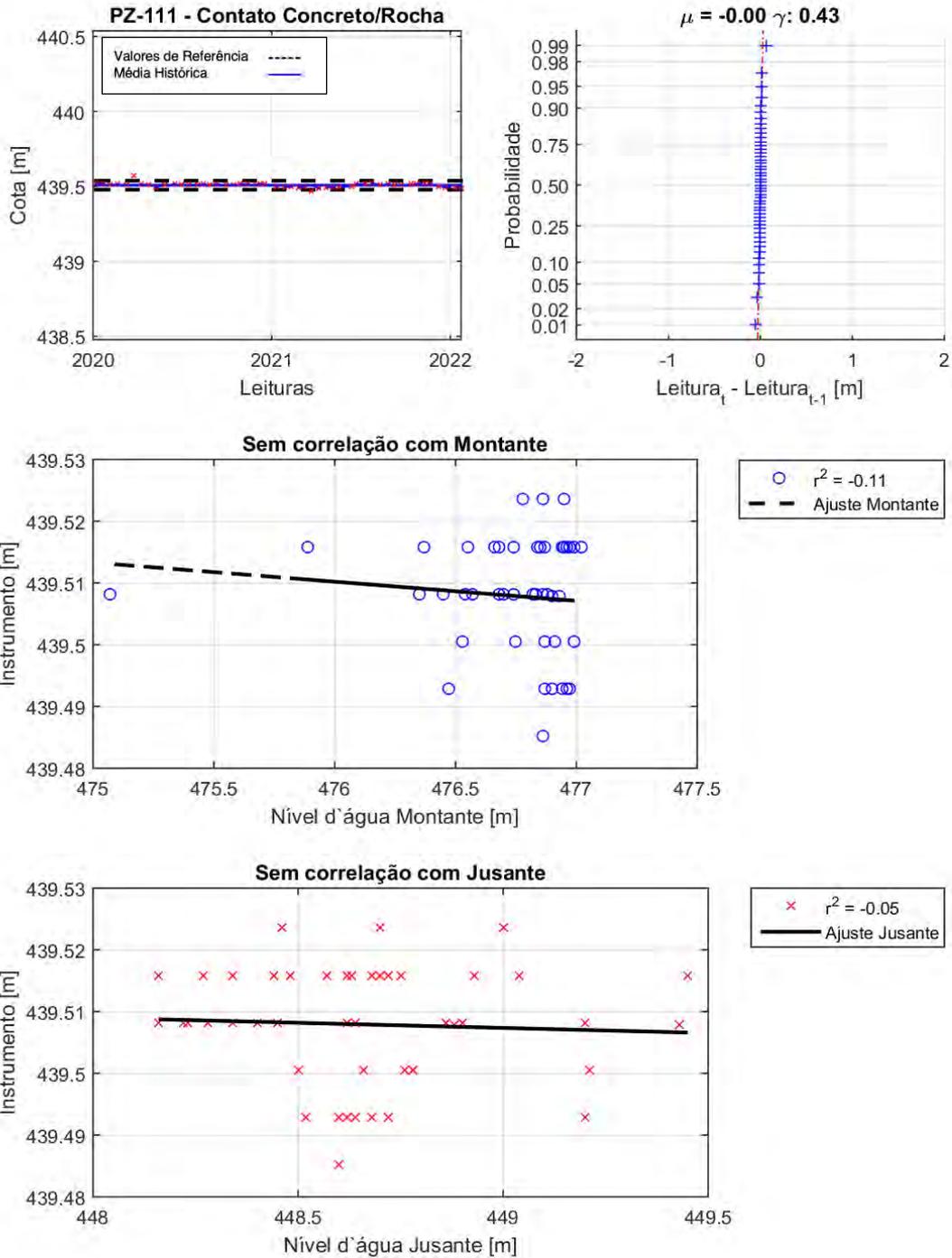


GRÁFICO 50. PZ 111 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

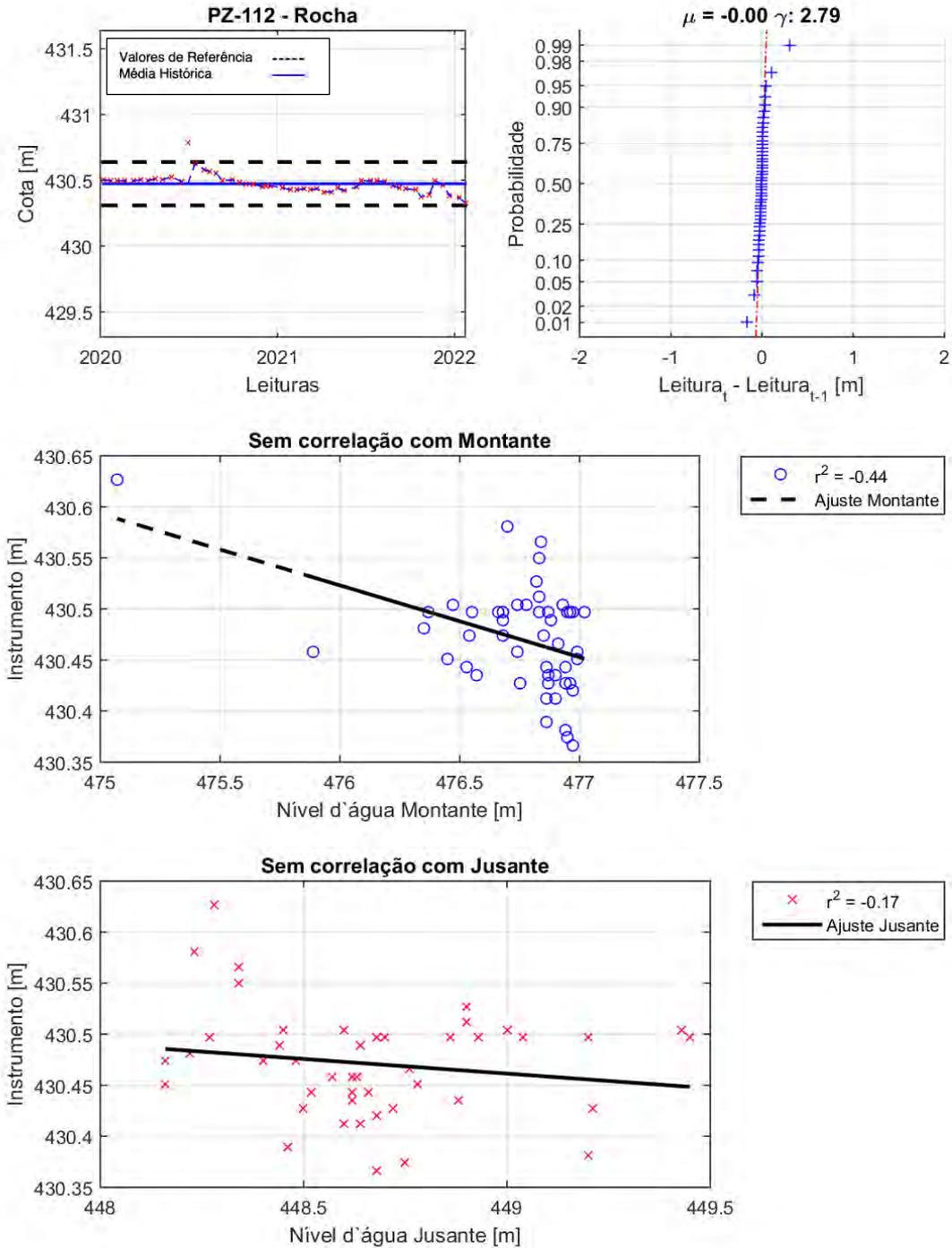


GRÁFICO 51. PZ 112 - ROCHA.

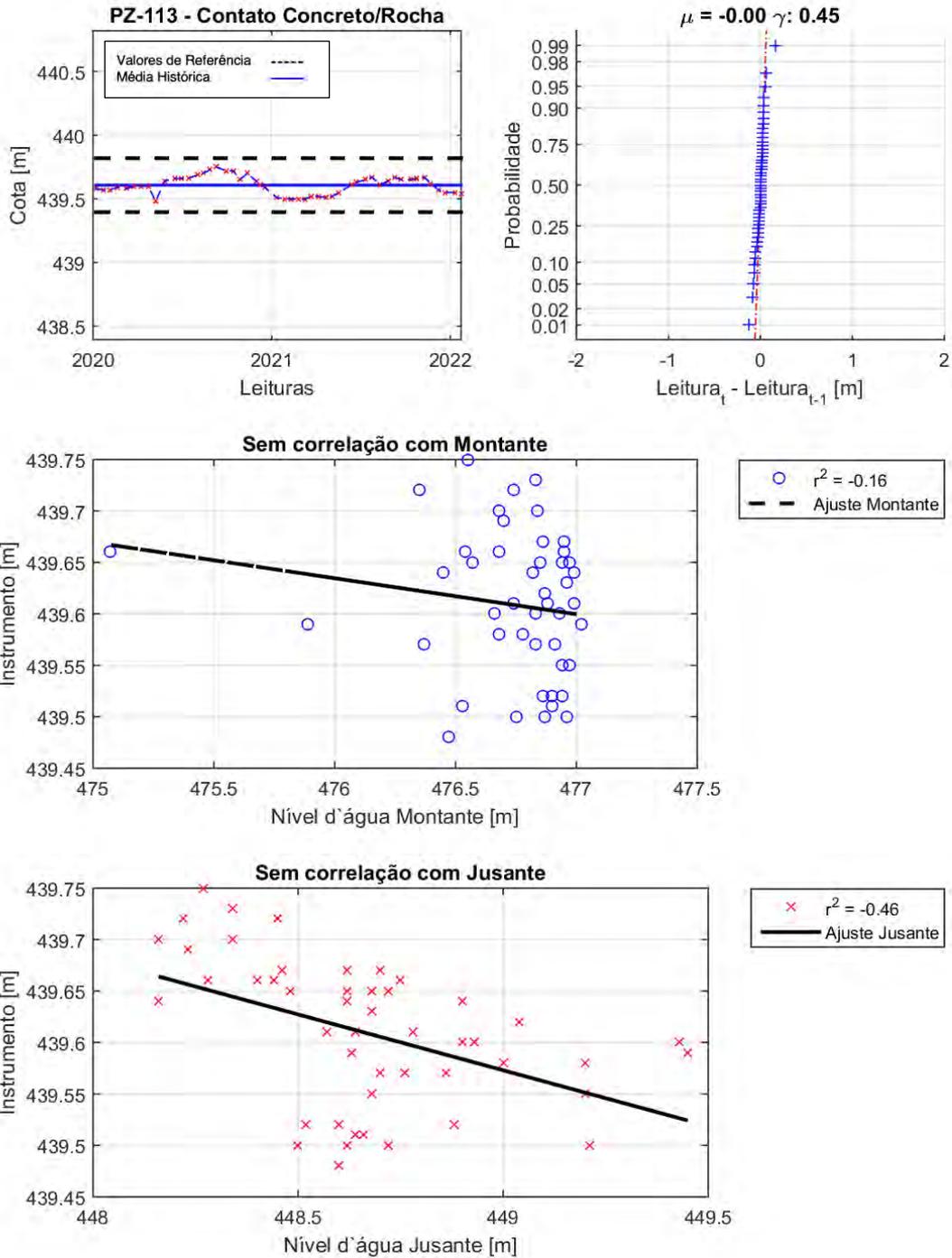


GRÁFICO 52. PZ 113 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

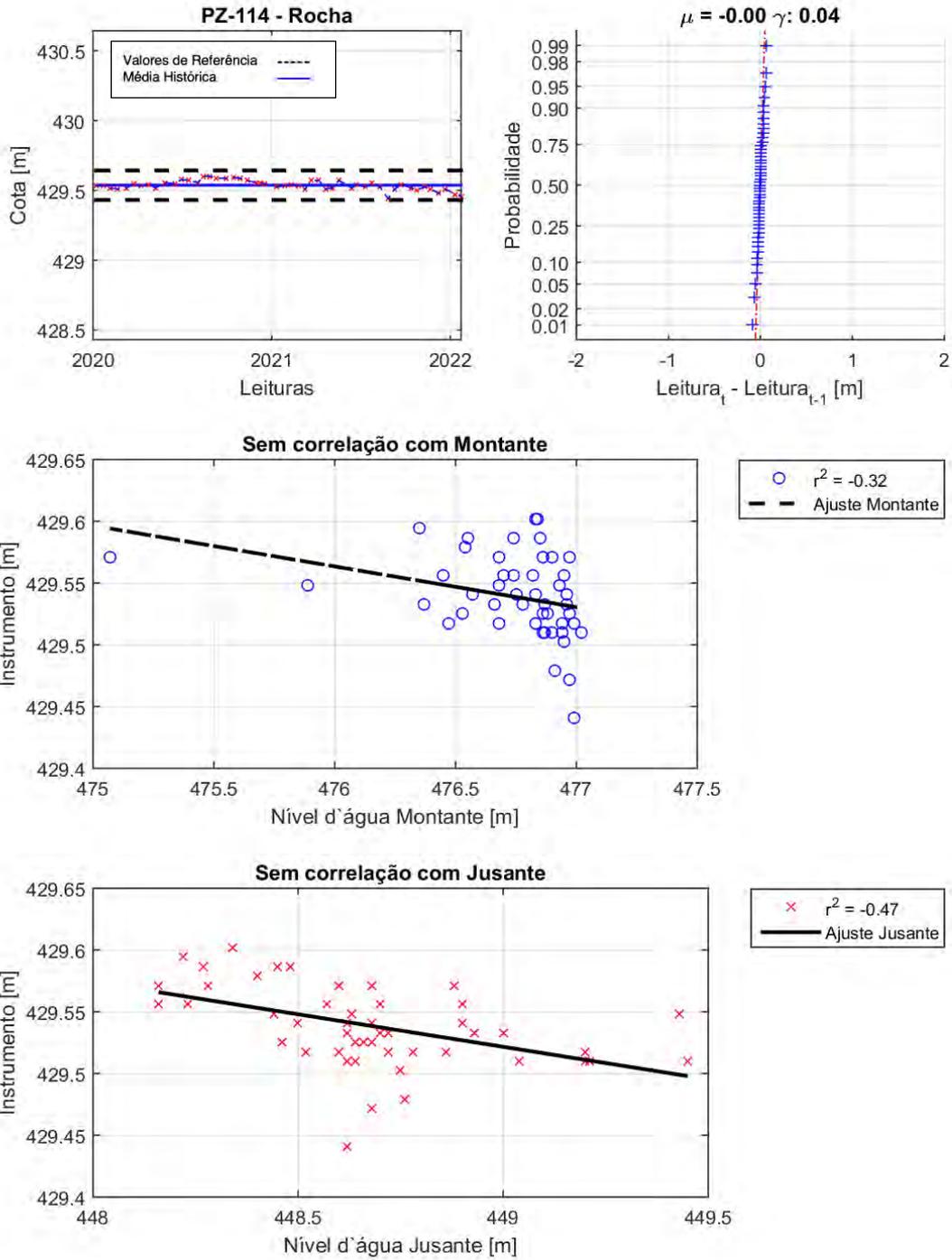


GRÁFICO 53. PZ 114 - ROCHA.

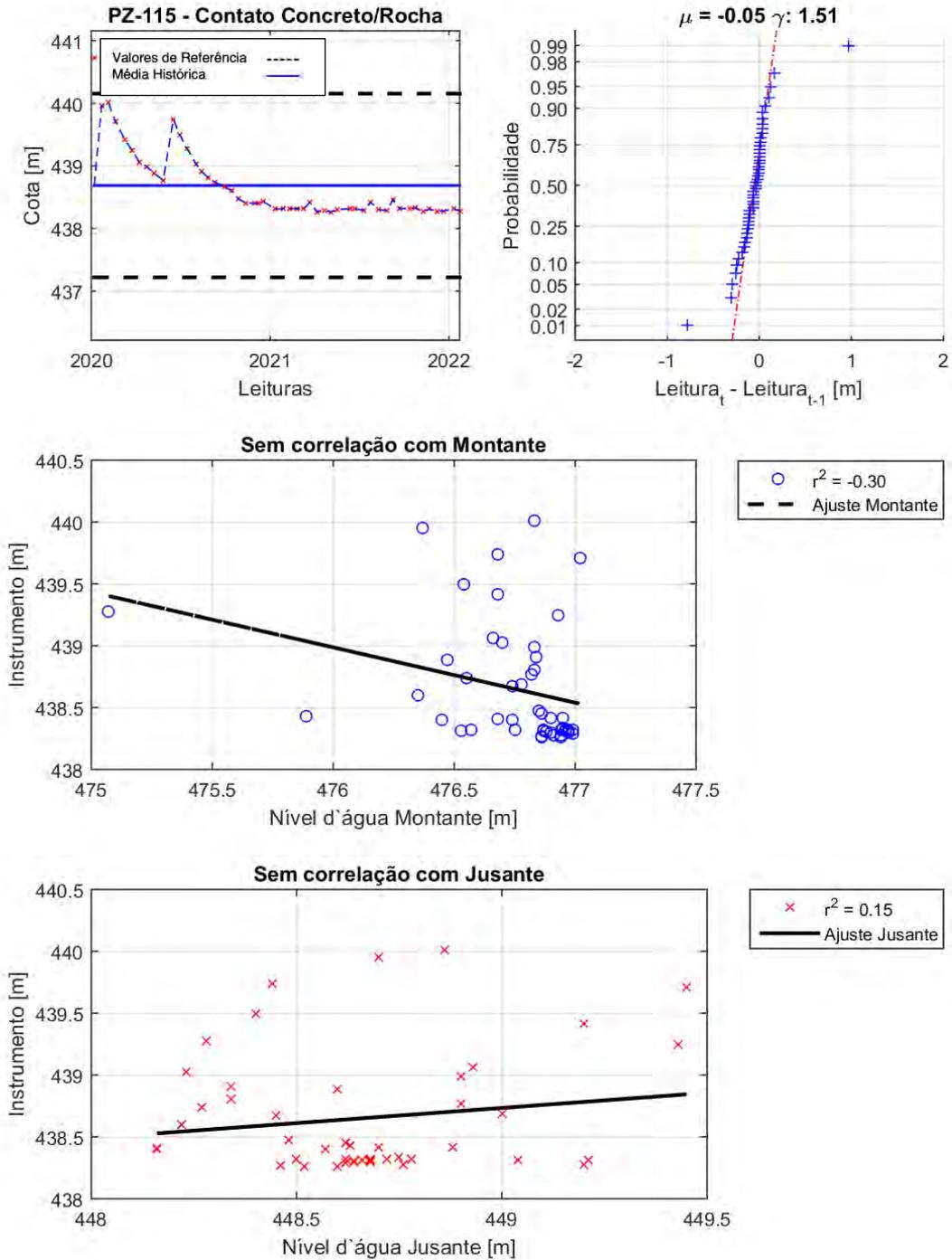


GRÁFICO 54. PZ 115 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

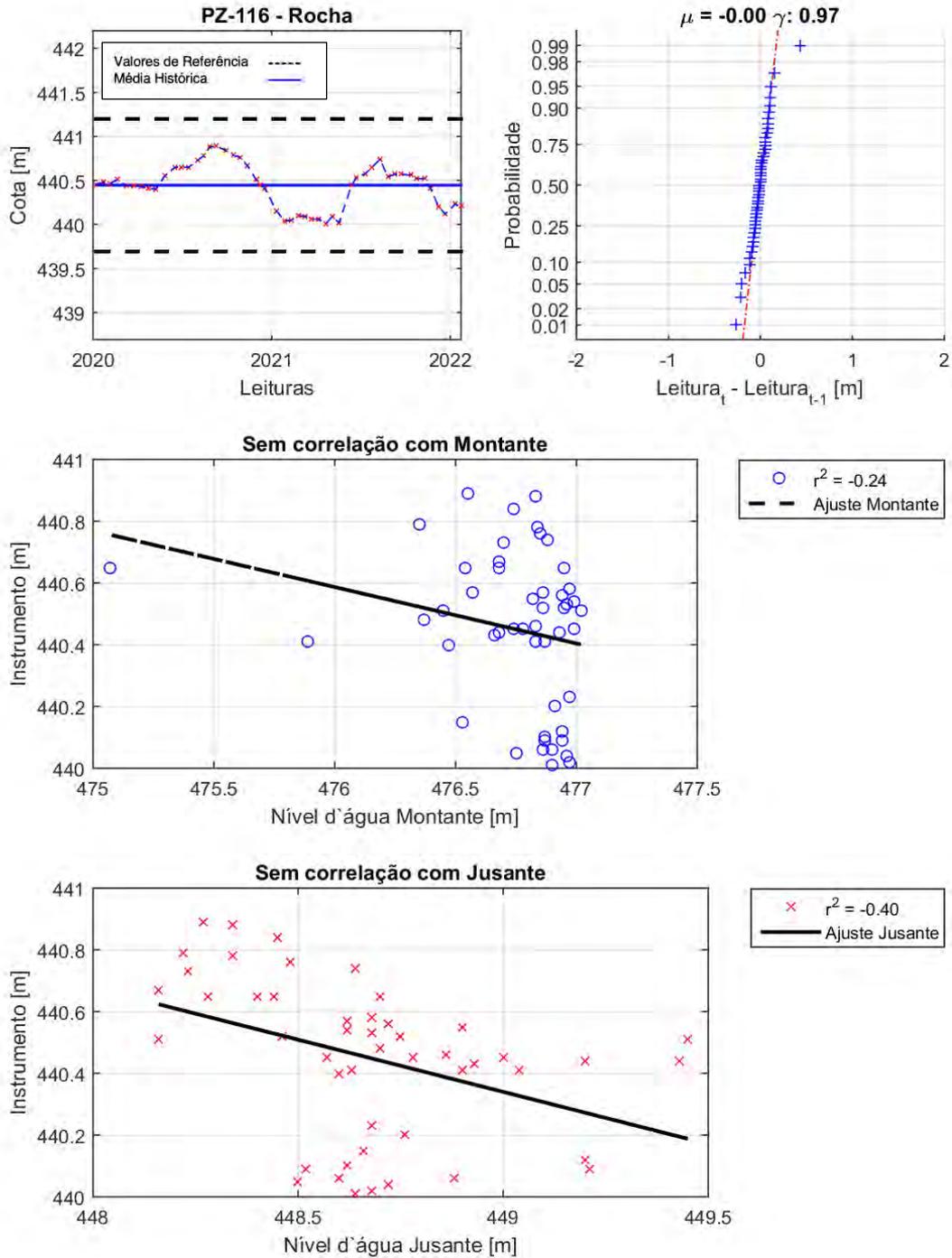


GRÁFICO 55. PZ 116 - ROCHA.

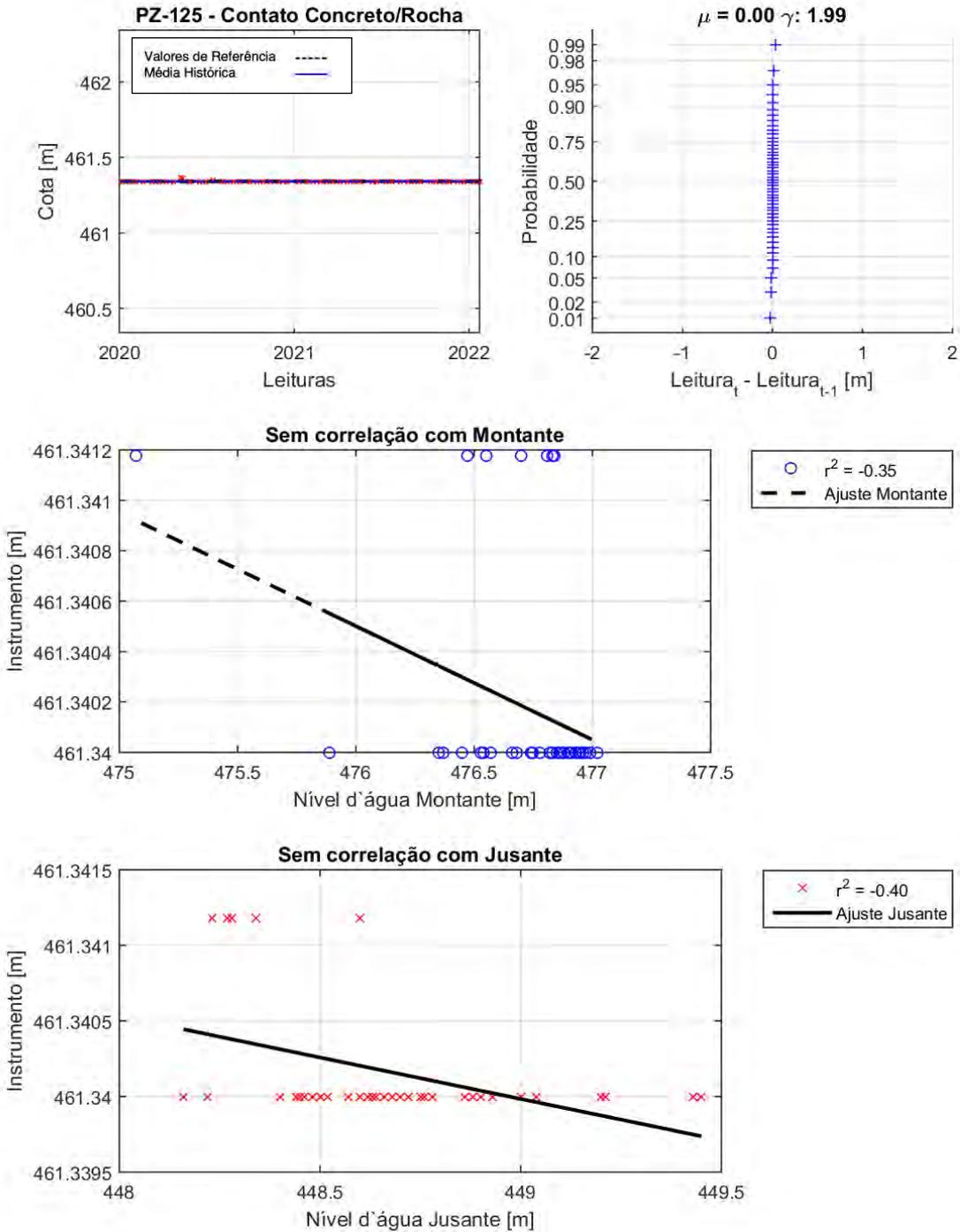


GRÁFICO 56. PZ 125 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

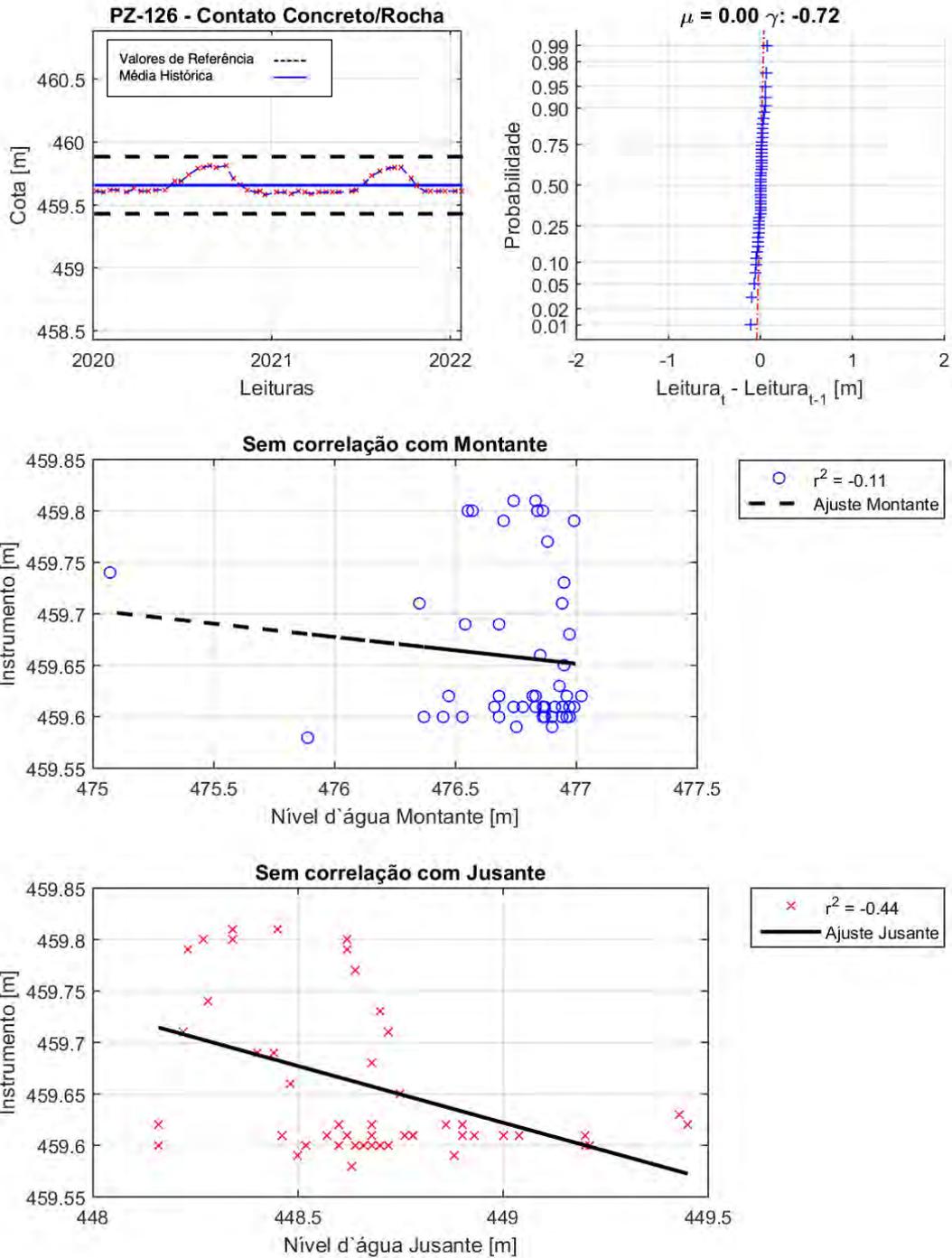


GRÁFICO 57. PZ 126 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

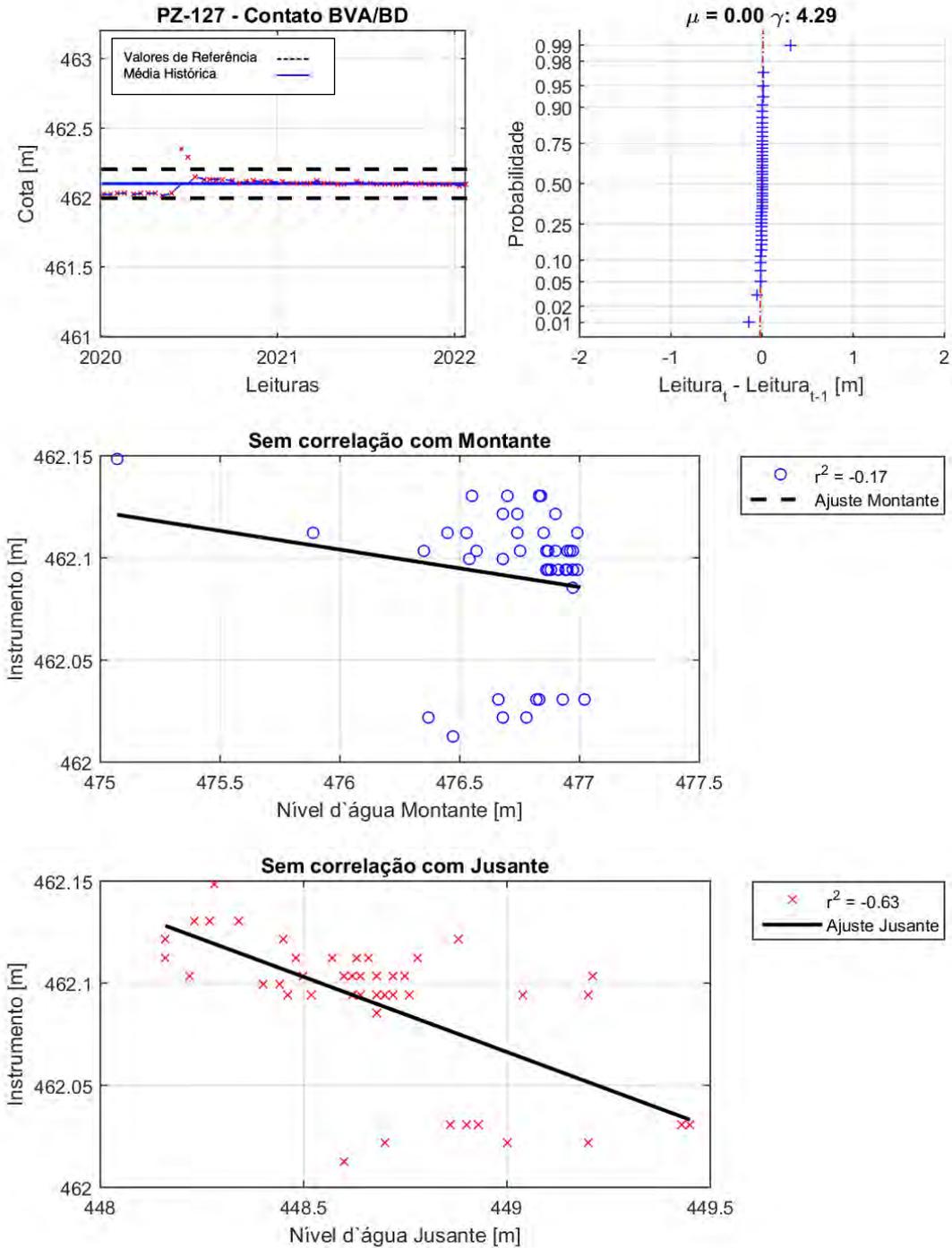


GRÁFICO 58. PZ 127 - CONTATO BVA/BD.

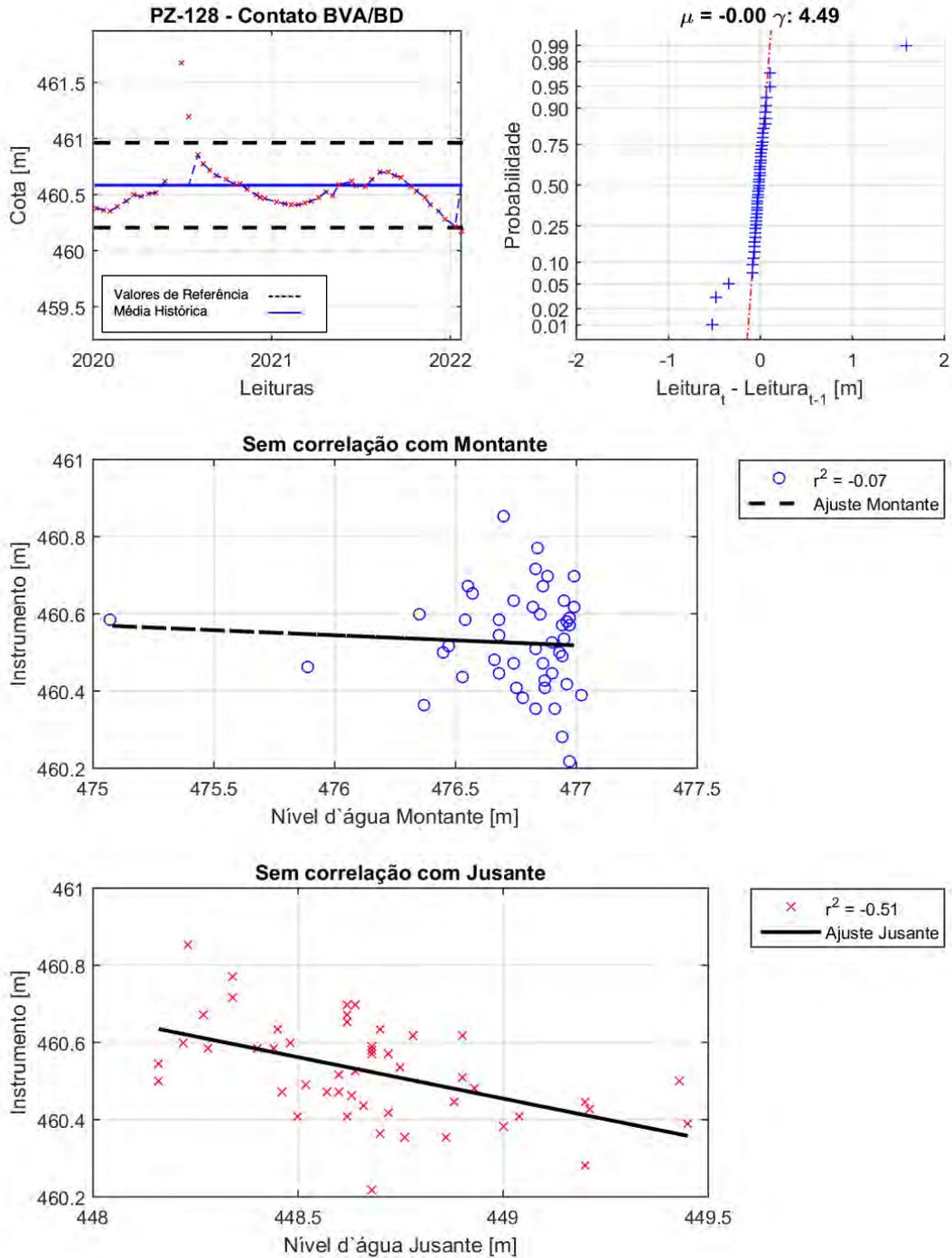


GRÁFICO 59. PZ 128 - CONTATO BVA/BD.

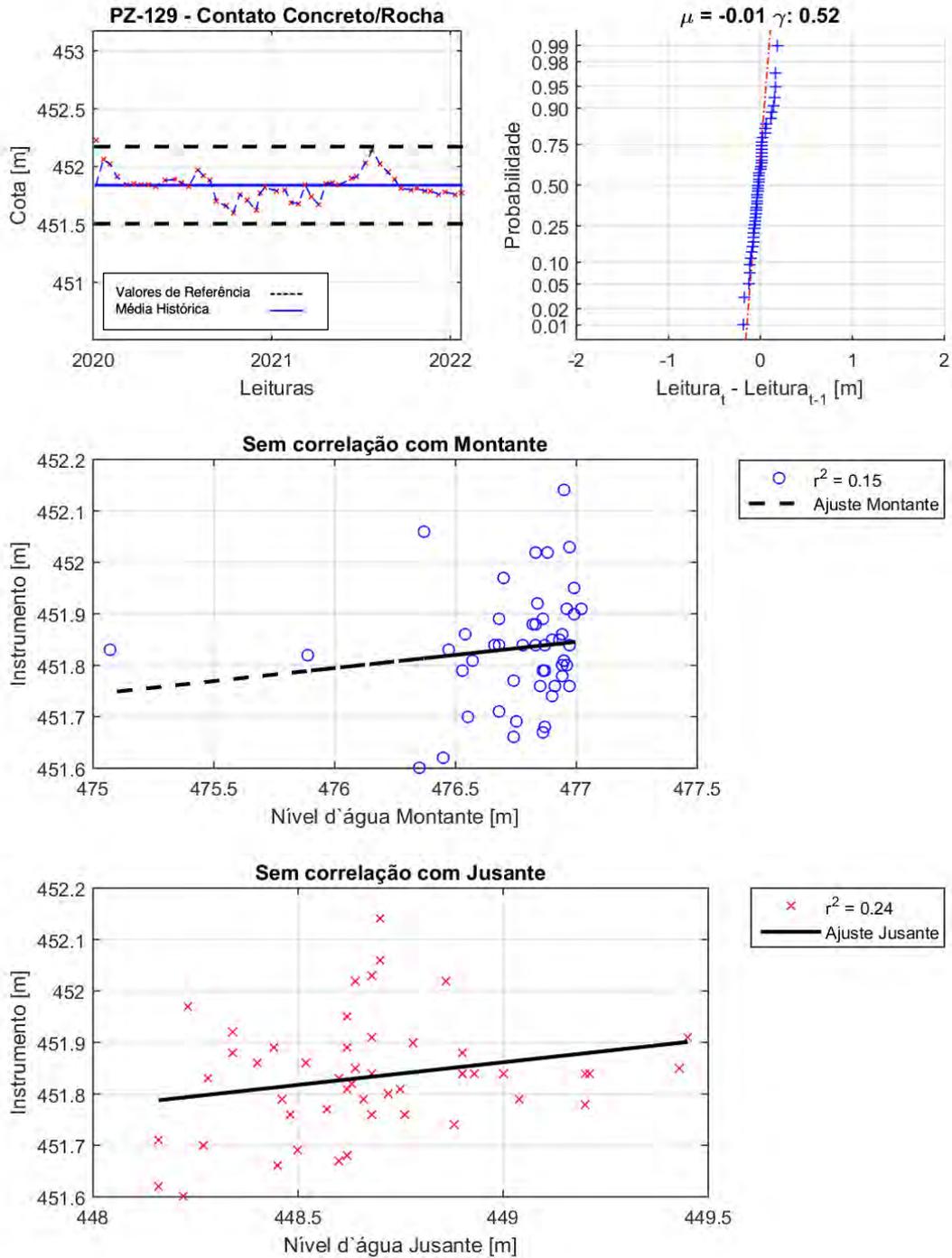


GRÁFICO 60. PZ 129 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

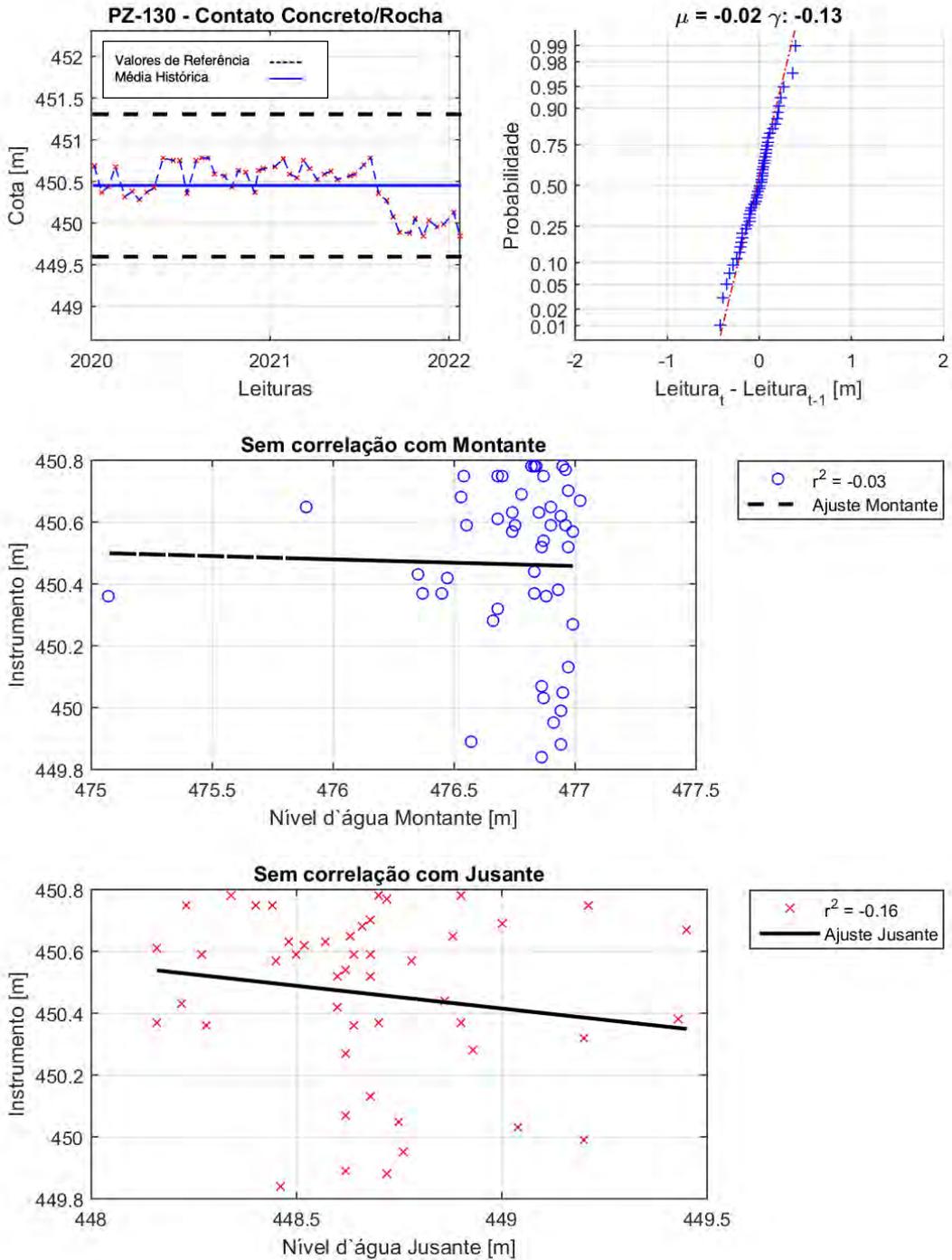


GRÁFICO 61. PZ 130 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

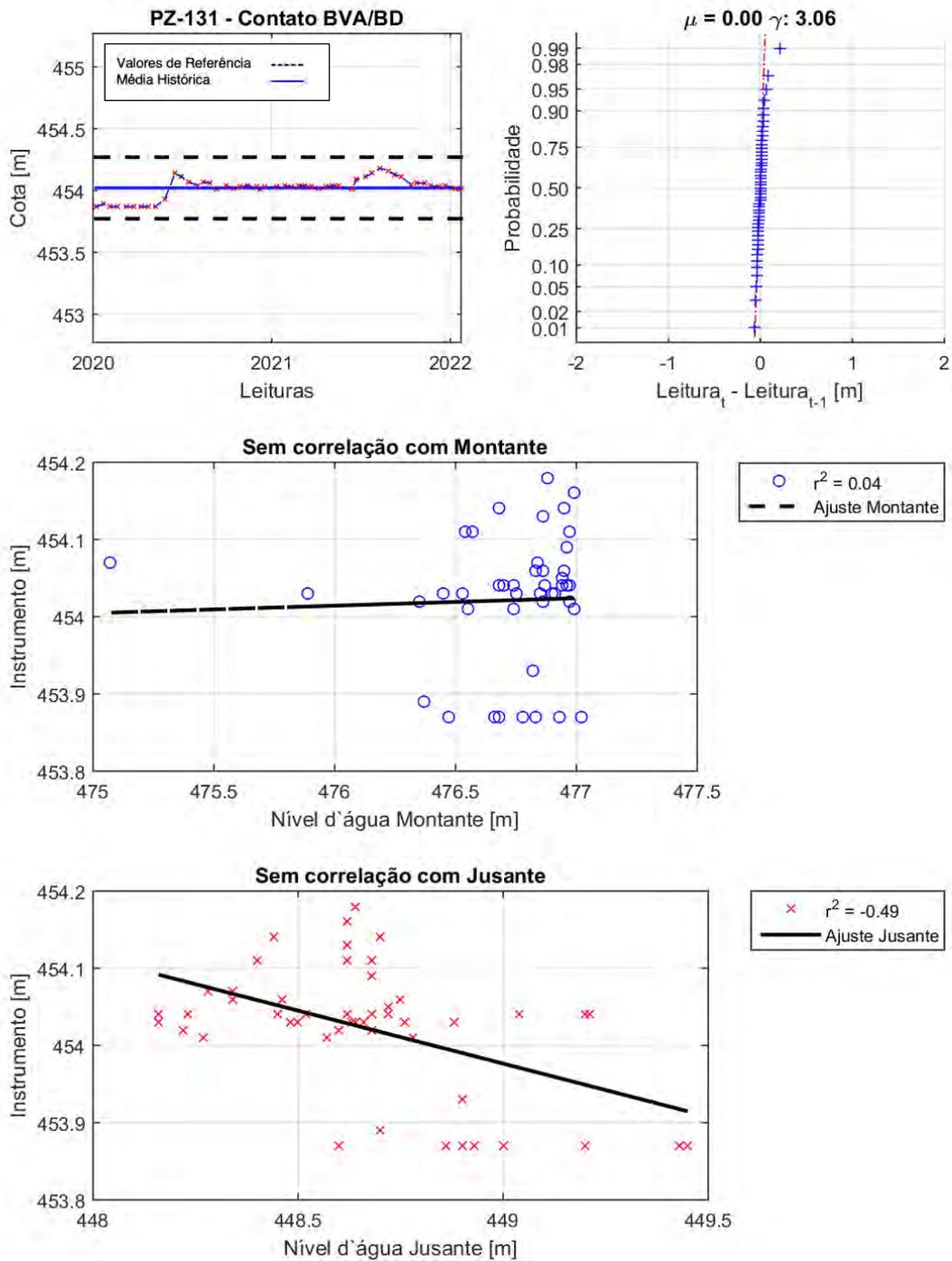


GRÁFICO 62. PZ 131 - CONTATO BVA/BD.

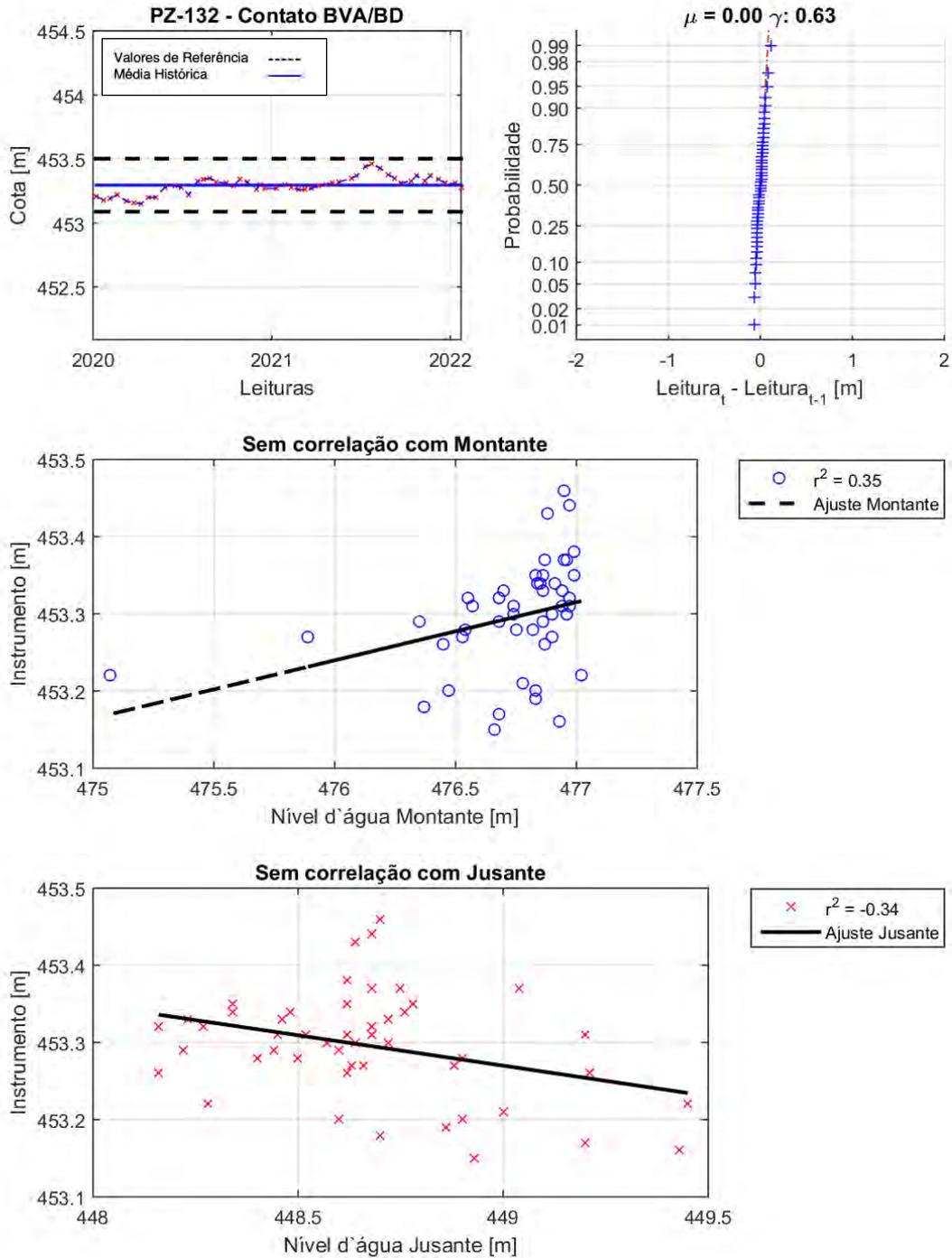


GRÁFICO 63. PZ 132 - CONTATO BVA/BD.

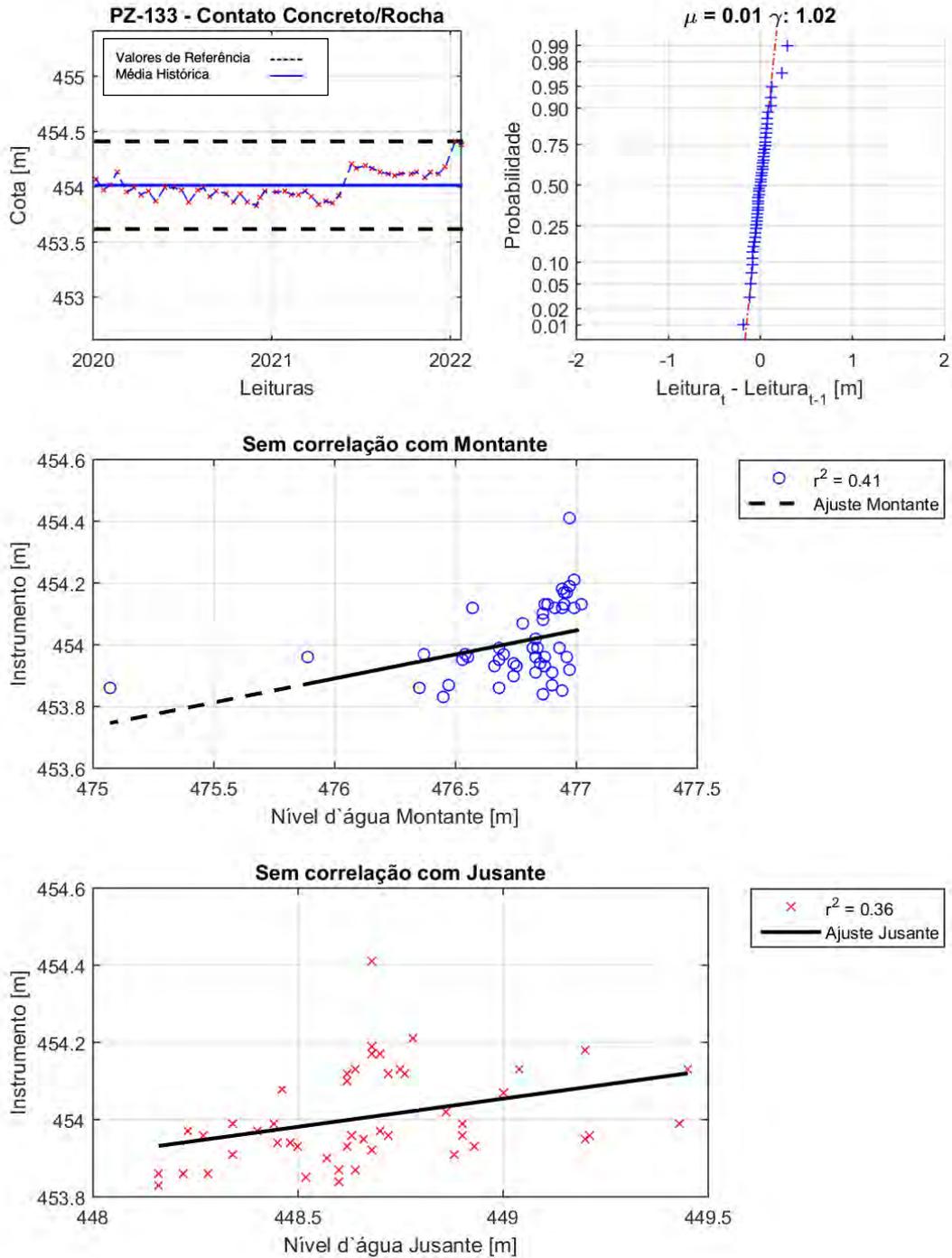


GRÁFICO 64. PZ 133 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

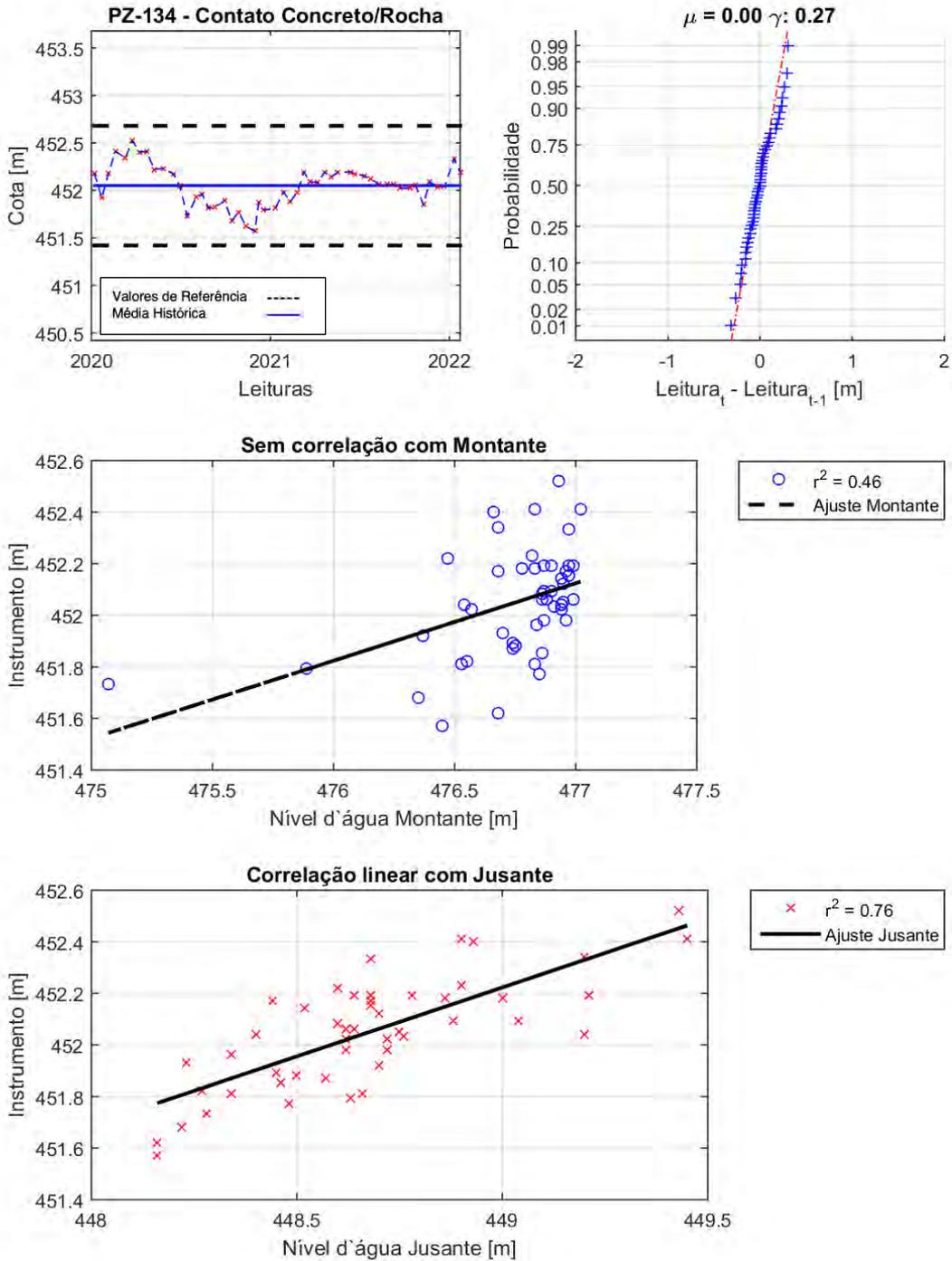


GRÁFICO 65. PZ 134 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

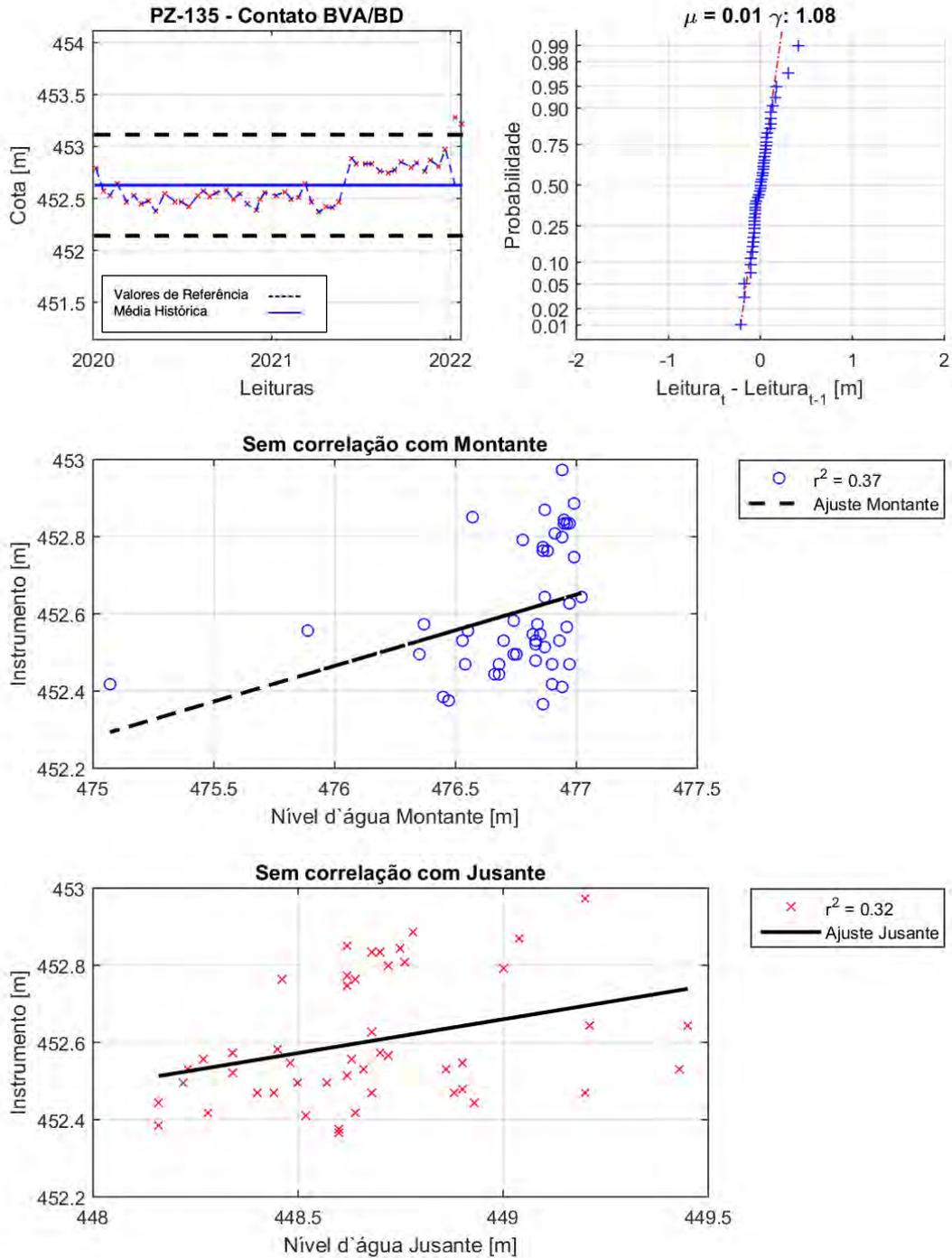


GRÁFICO 66. PZ 135 - CONTATO BVA/BD.

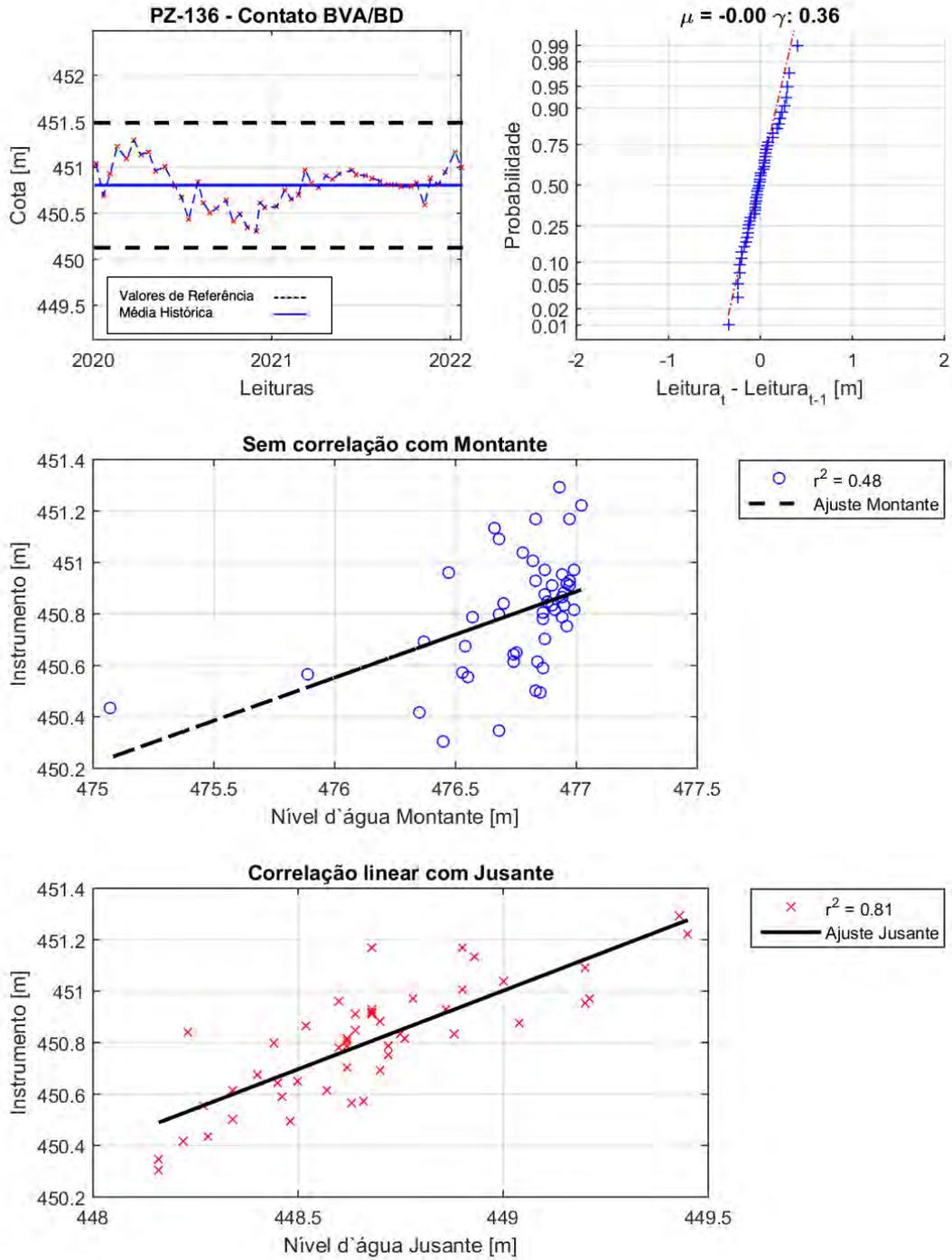


GRÁFICO 67. PZ 136 - CONTATO BVA/BD.

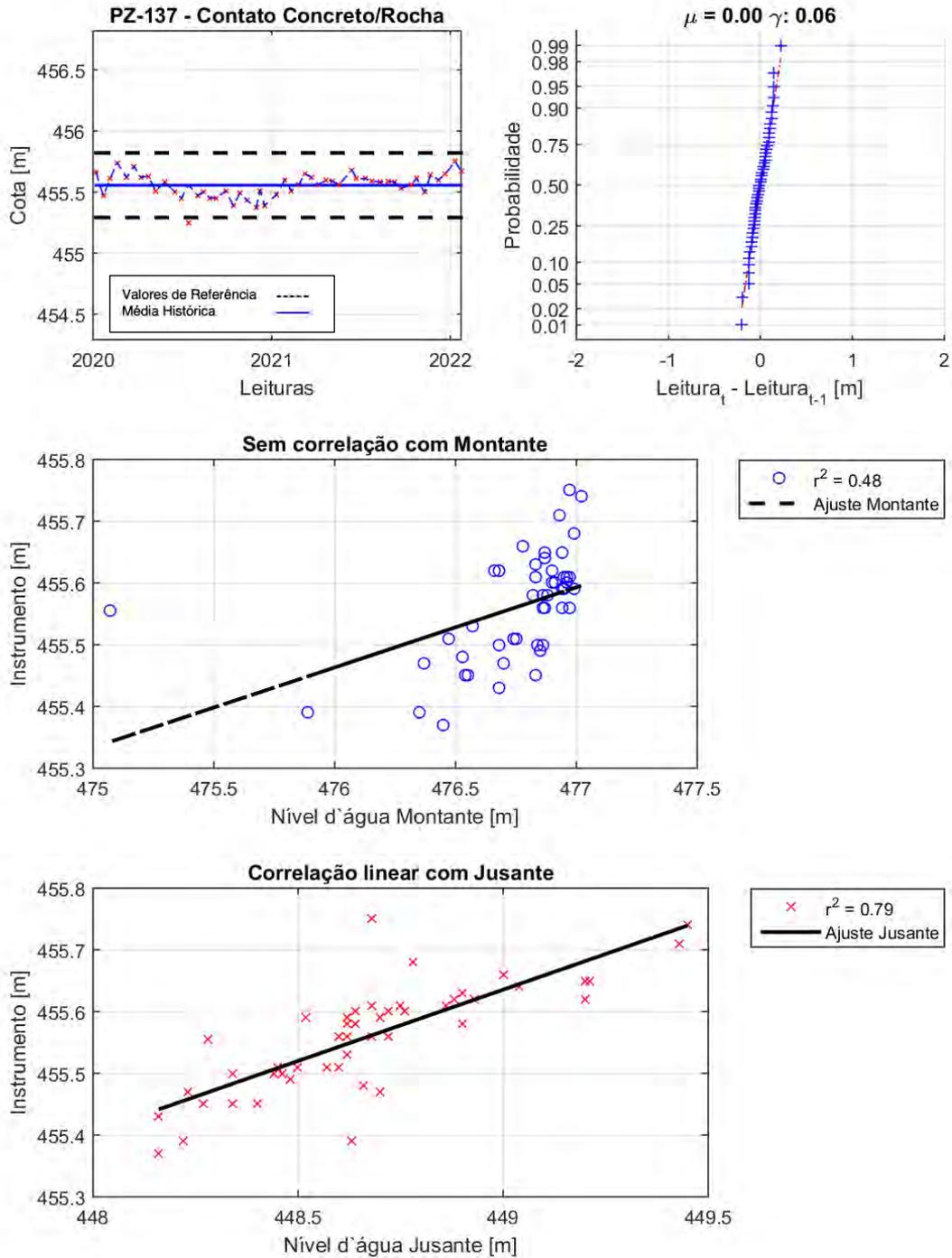


GRÁFICO 68. PZ 137 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

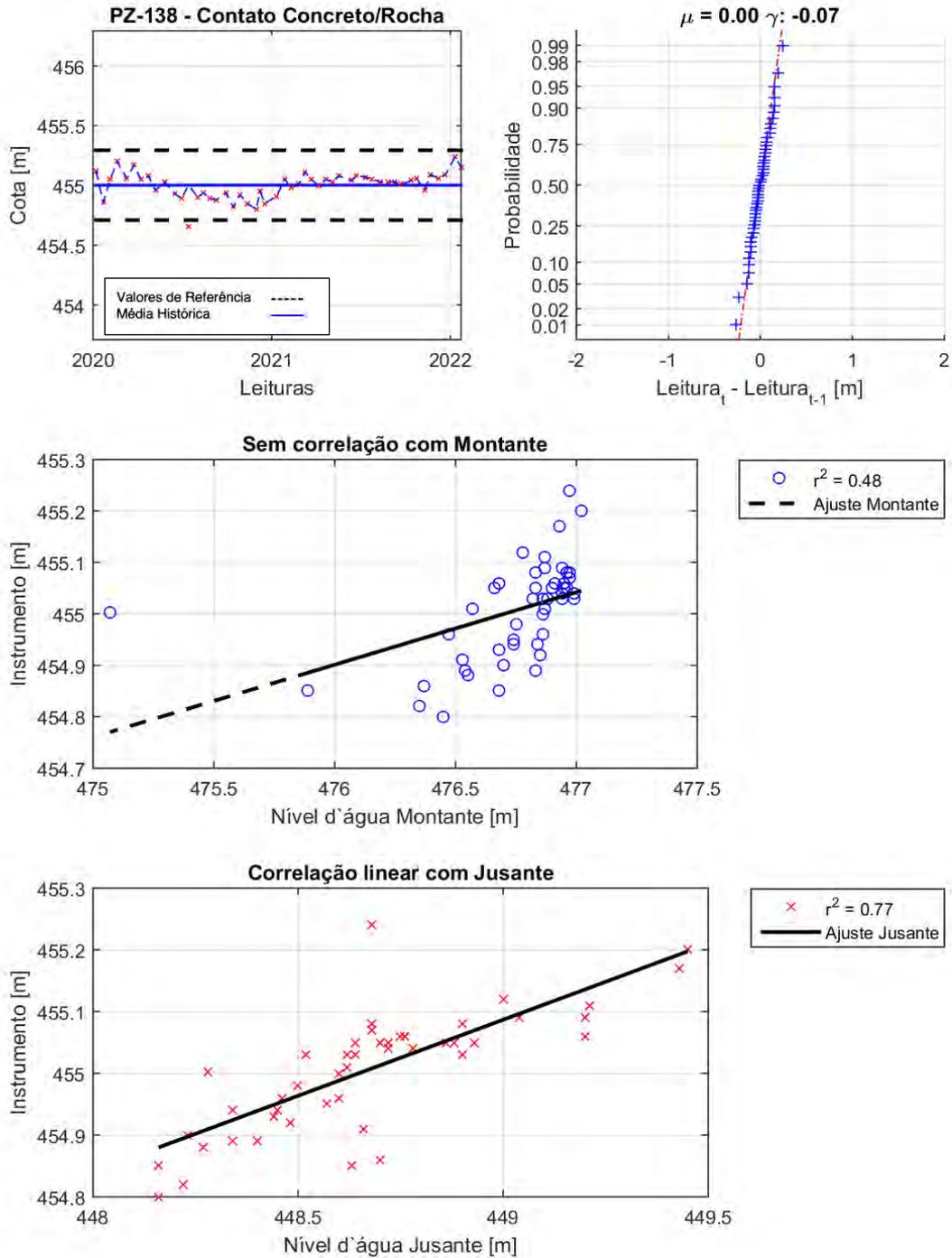


GRÁFICO 69. PZ 138 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

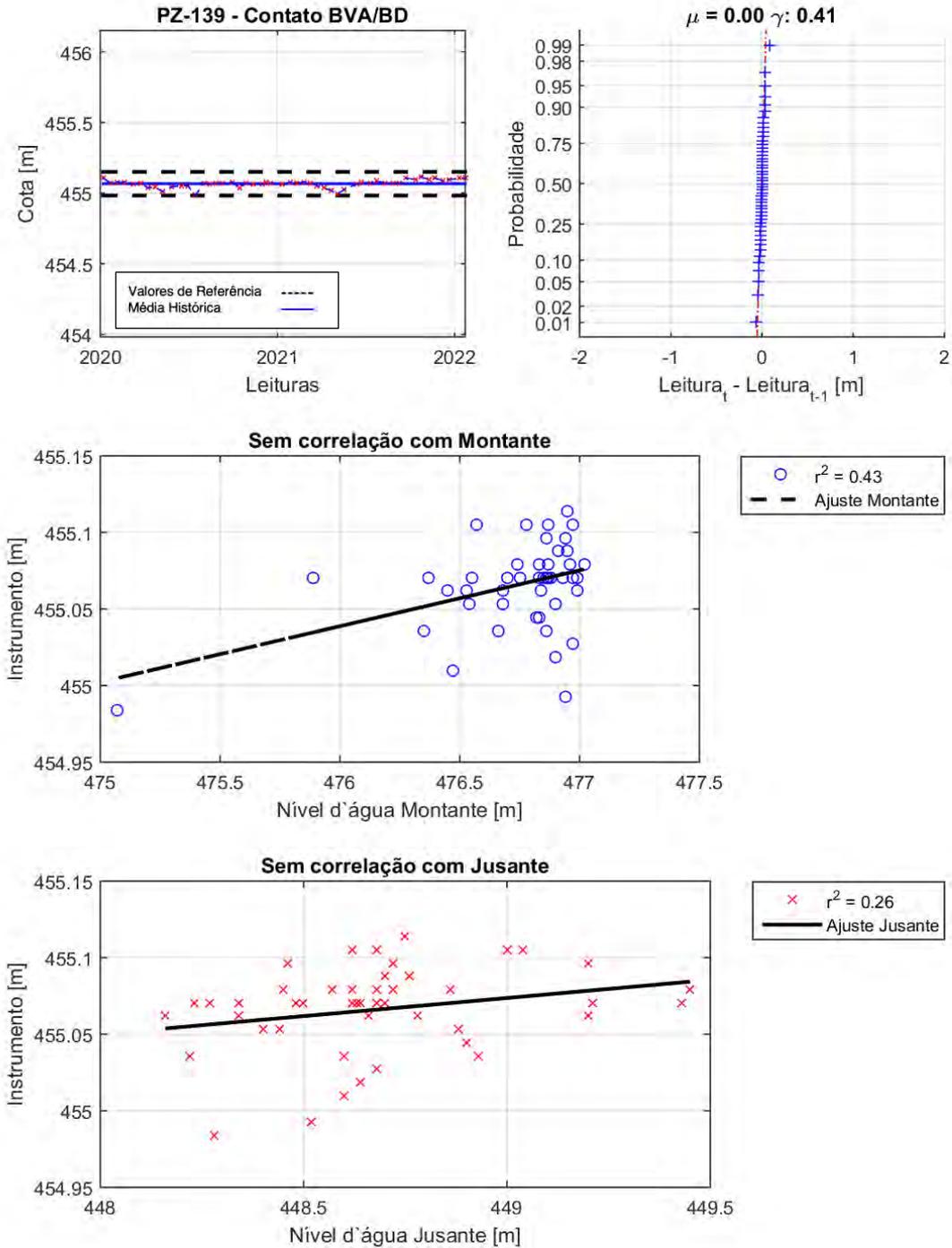


GRÁFICO 70. PZ 139 - CONTATO BVA/BD.

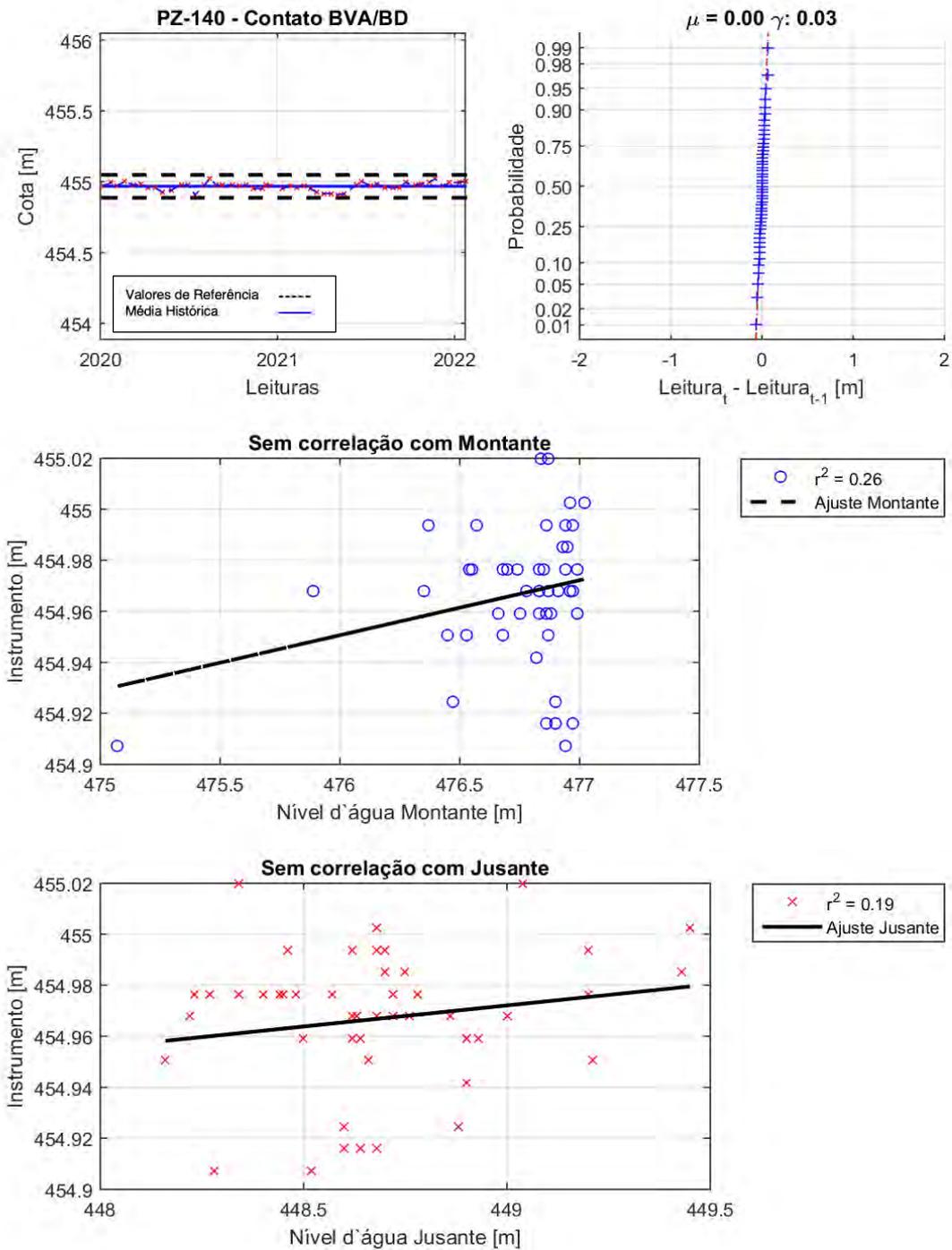


GRÁFICO 71. PZ 140 - CONTATO BVA/BD.

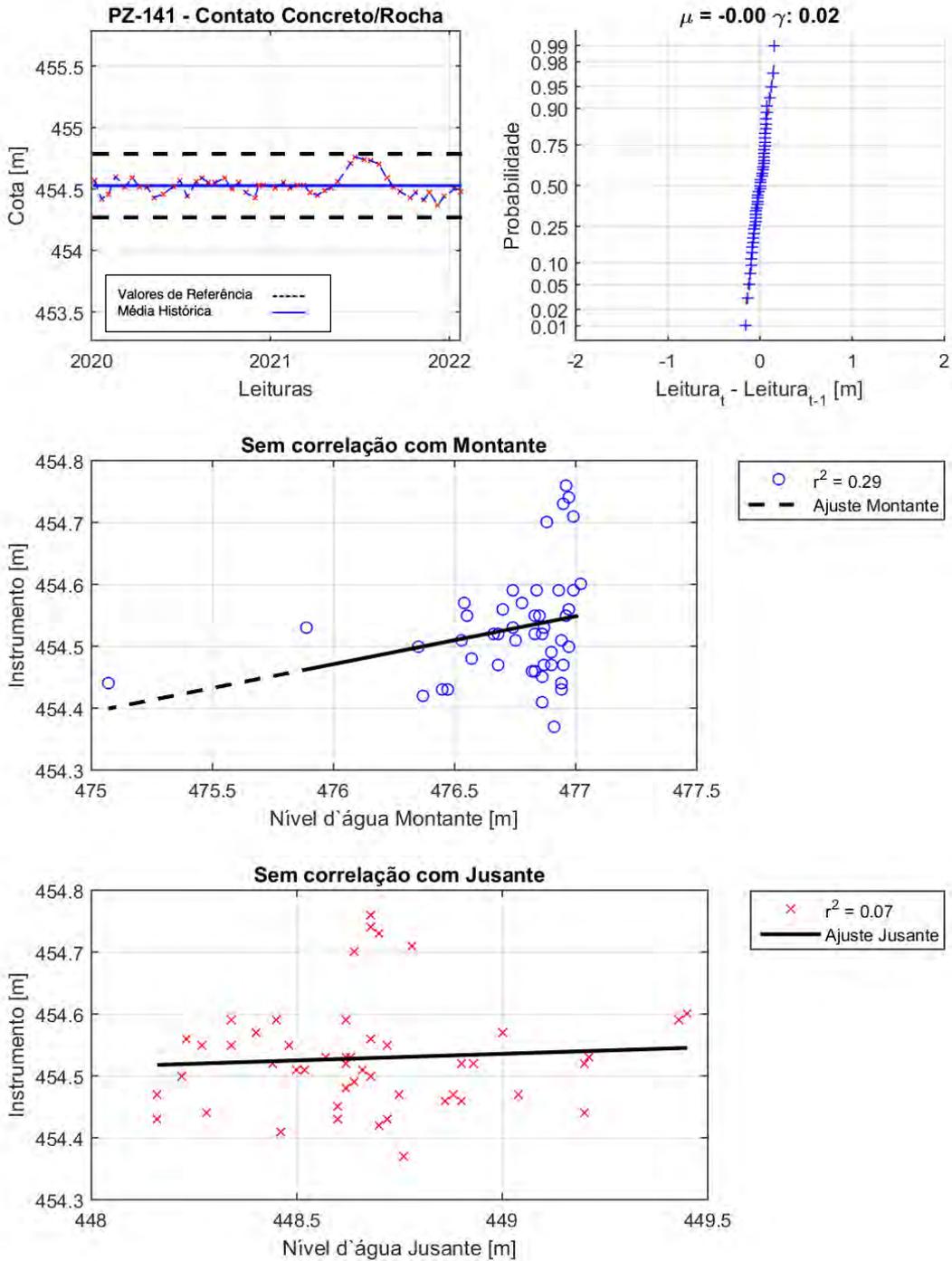


GRÁFICO 72. PZ 141 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

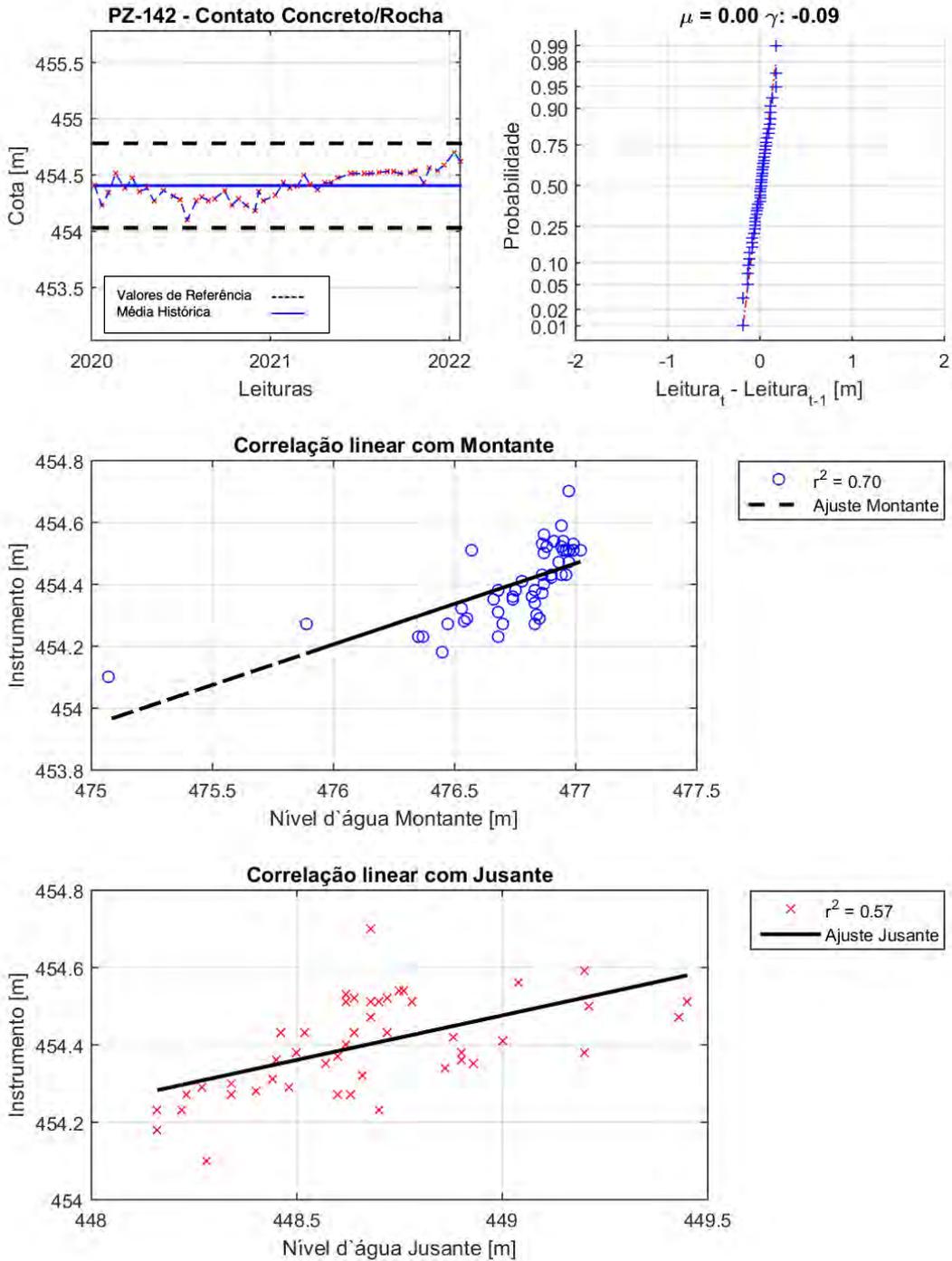


GRÁFICO 73. PZ 142 - CONTATO CONCRETO/ROCHA.

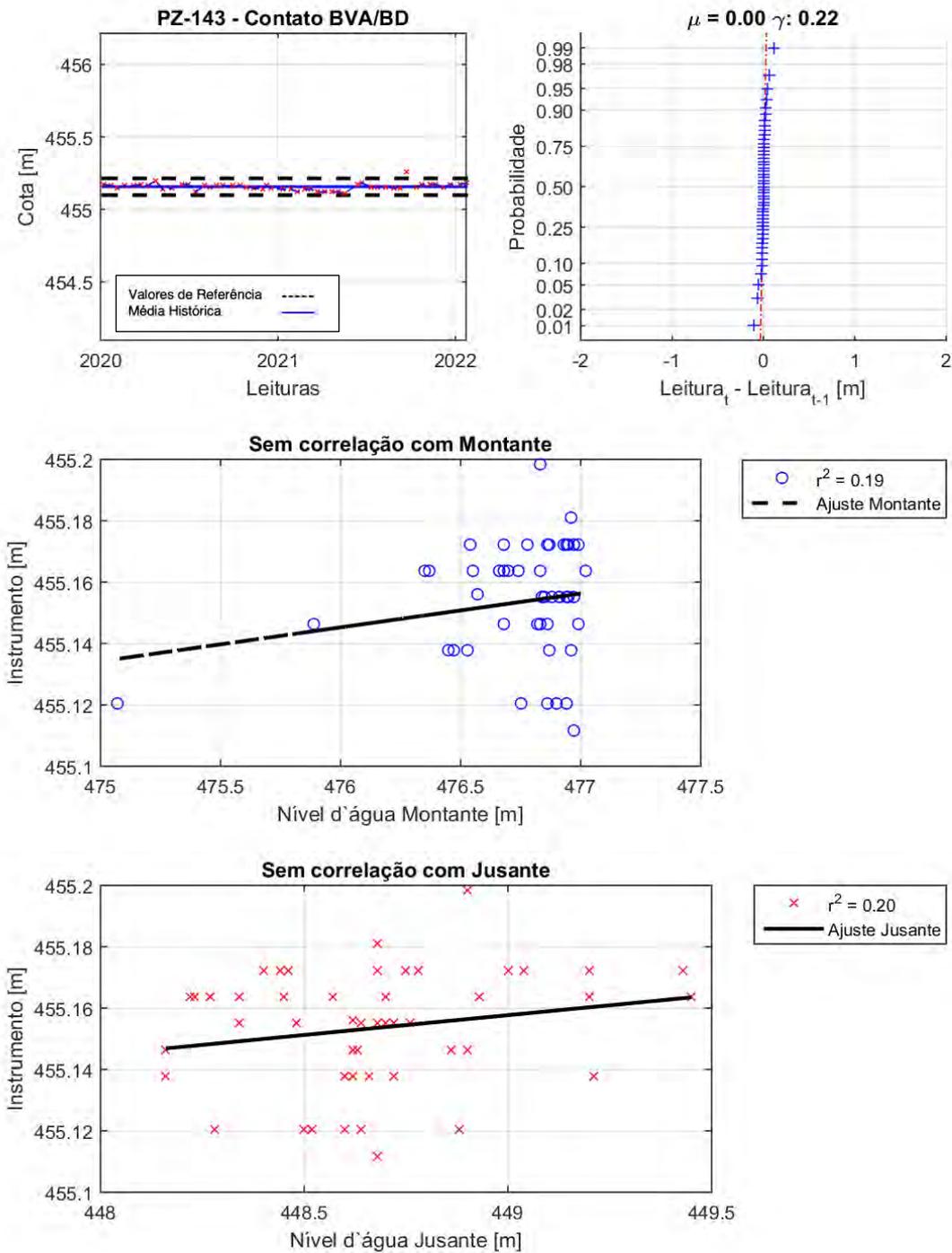


GRÁFICO 74. PZ 143 - CONTATO BVA/BD.

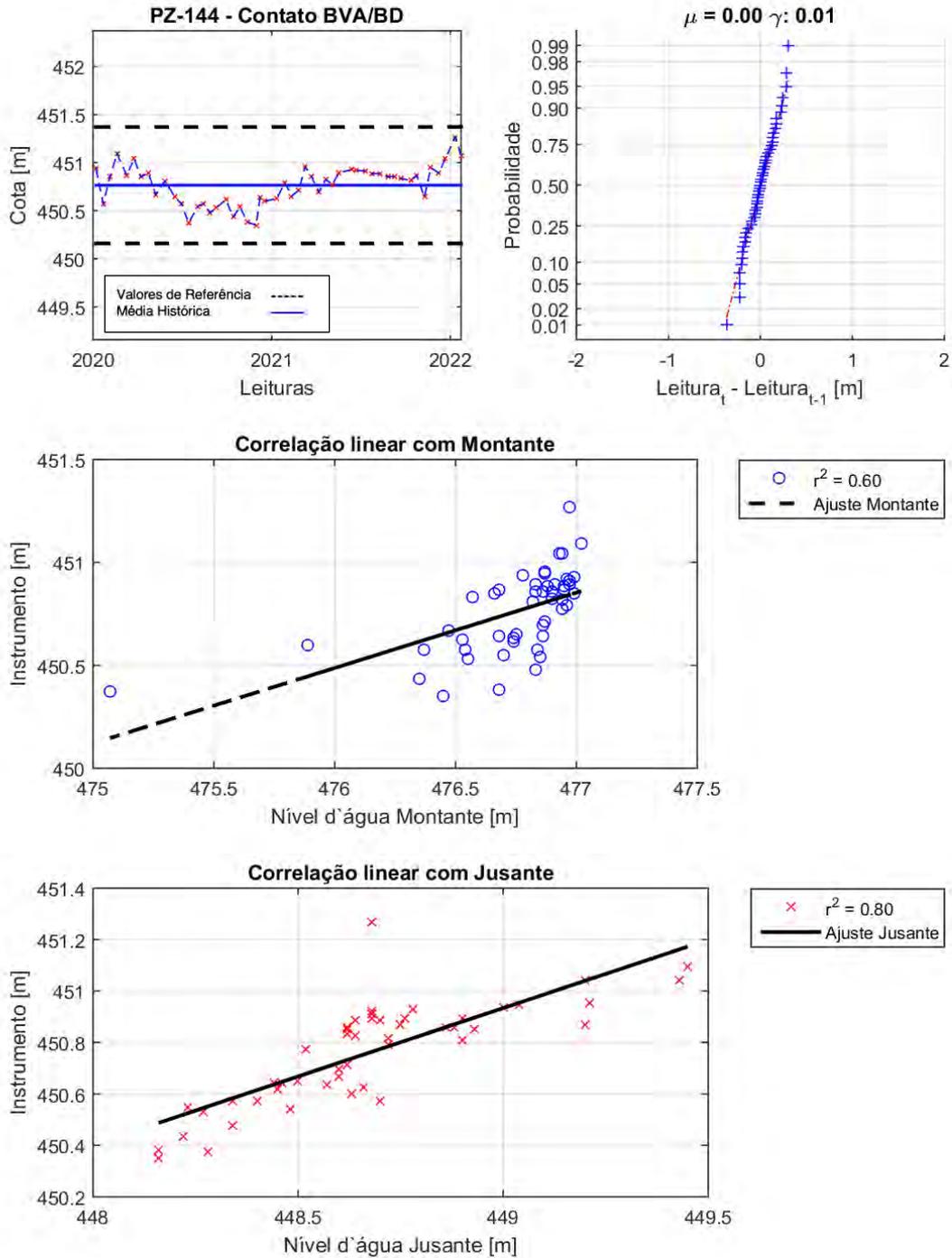


GRÁFICO 75. PZ 144 - CONTATO BVA/BD.

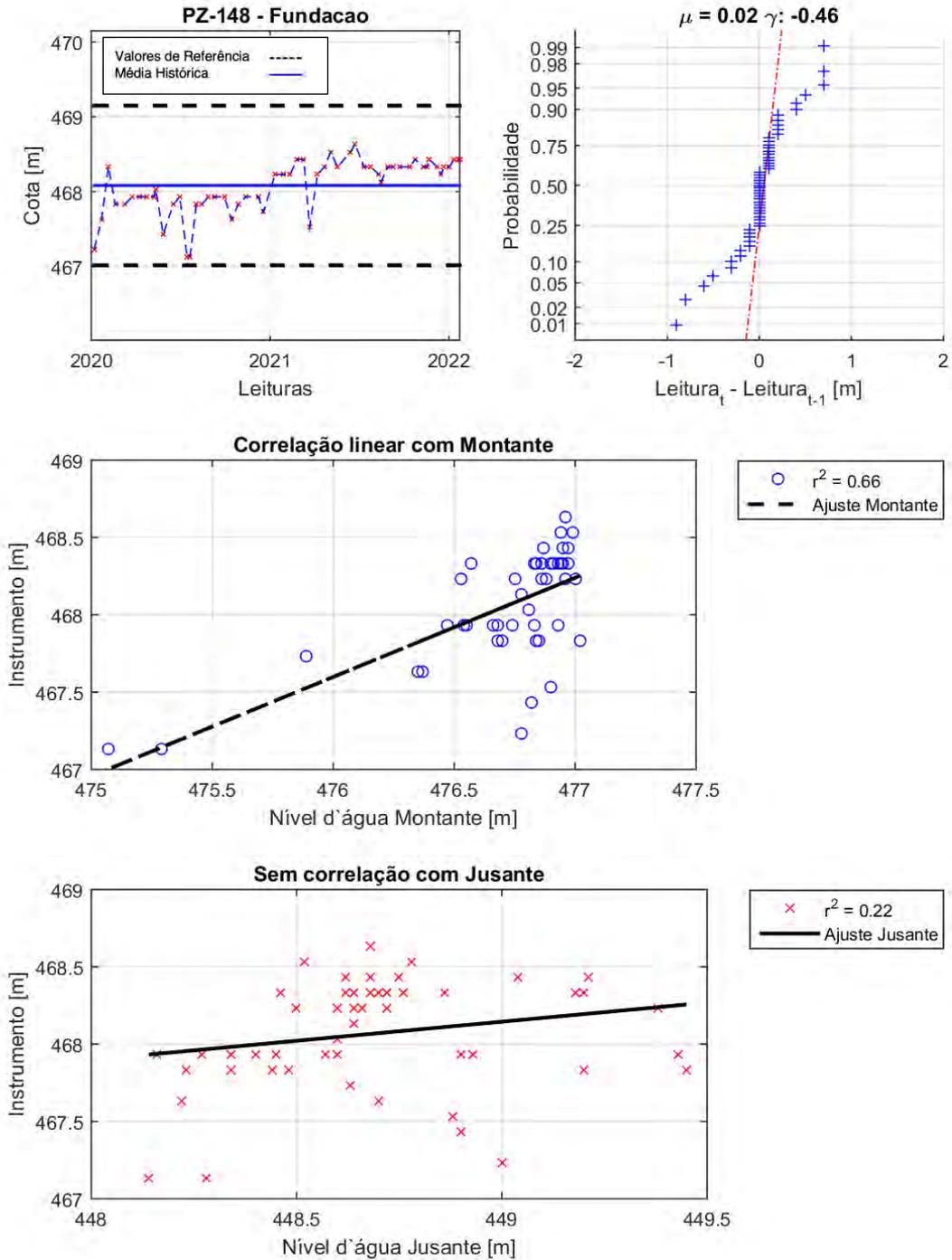


GRÁFICO 76. PZ 148 - FUNDAÇÃO.

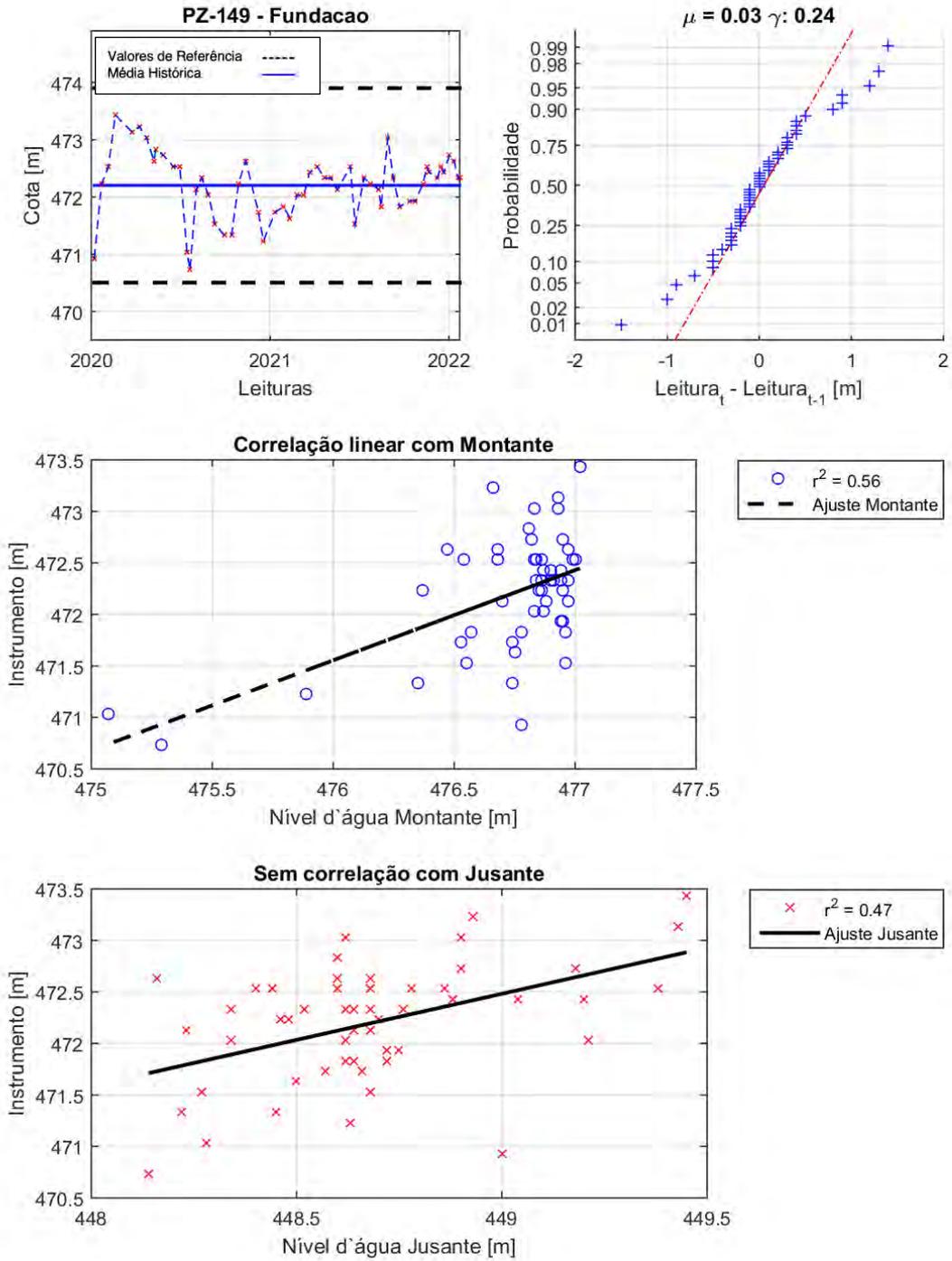


GRÁFICO 77. PZ 149 - FUNDAÇÃO.

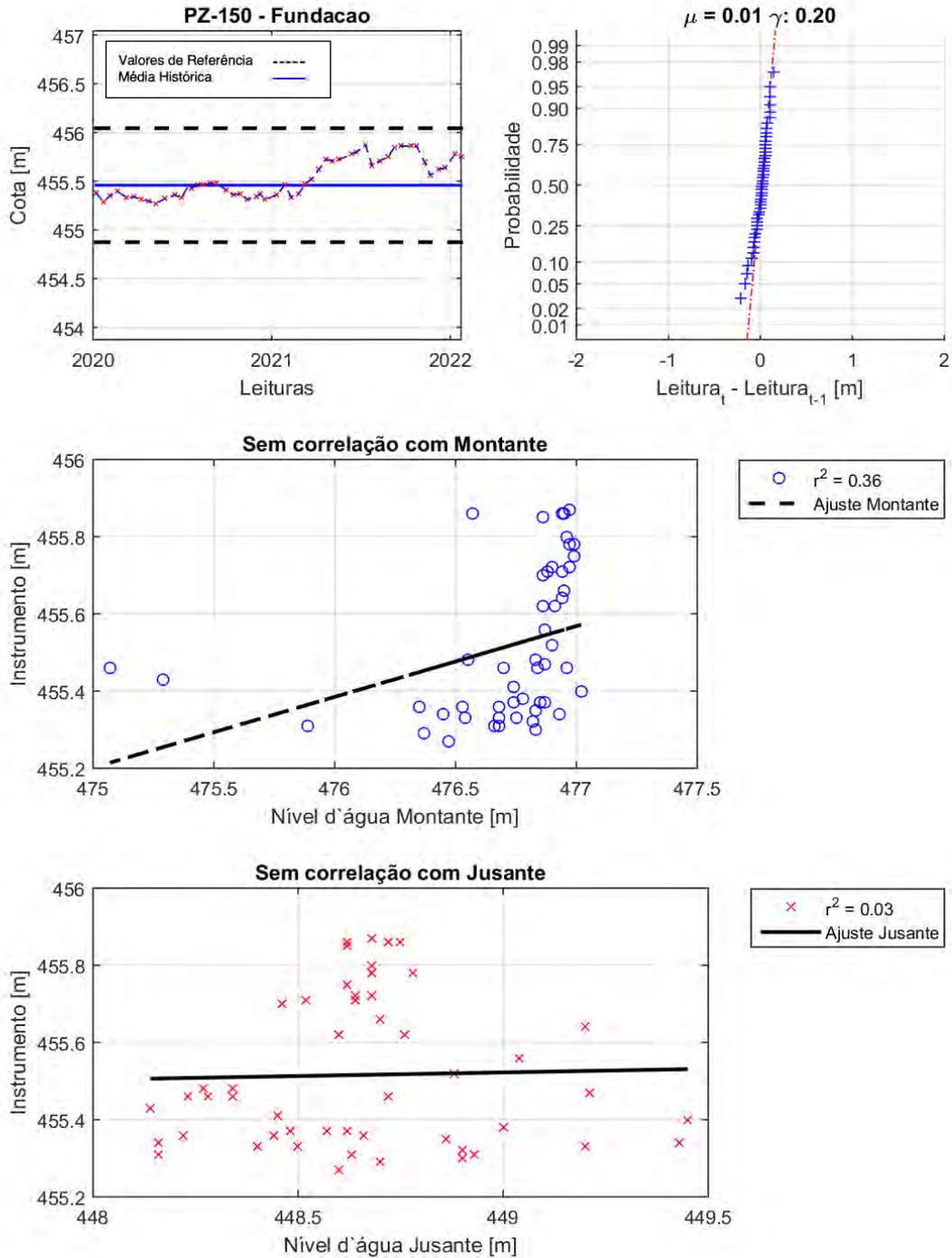


GRÁFICO 78. PZ 150 - FUNDAÇÃO.

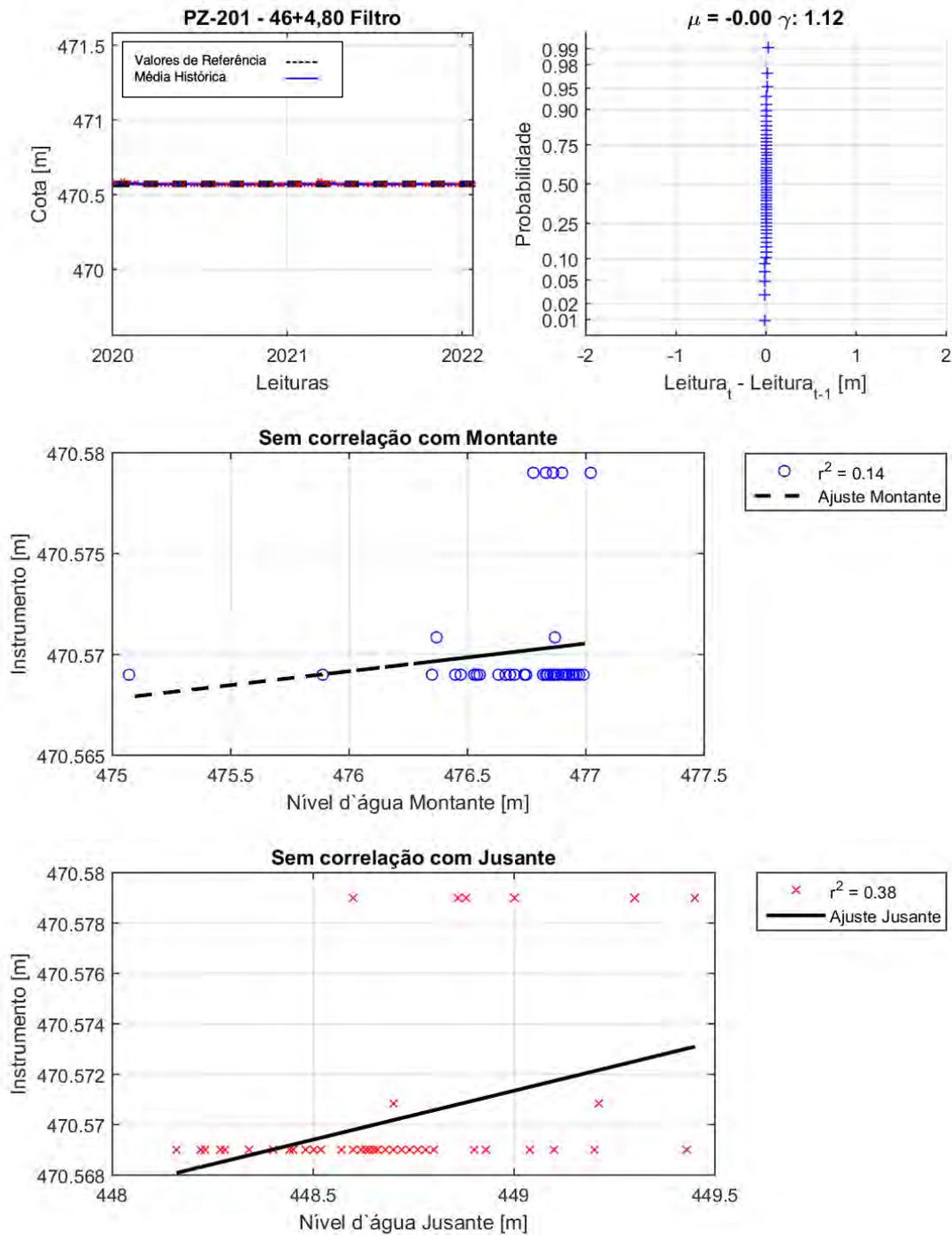


GRÁFICO 79. PZ 201 - 46 + 4,80 FILTRO.

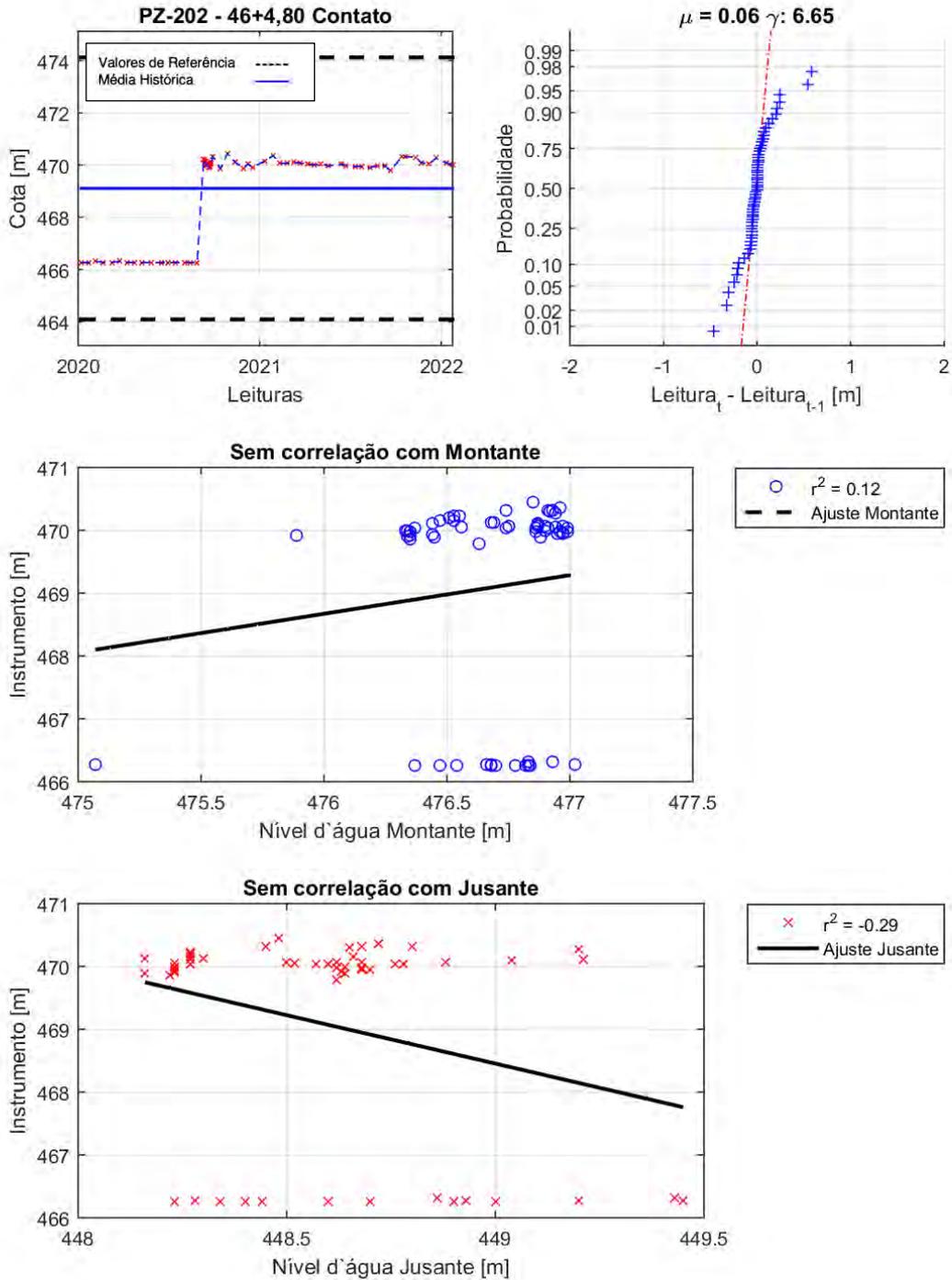


GRÁFICO 80. PZ 202 - 46 + 4,80 CONTATO.

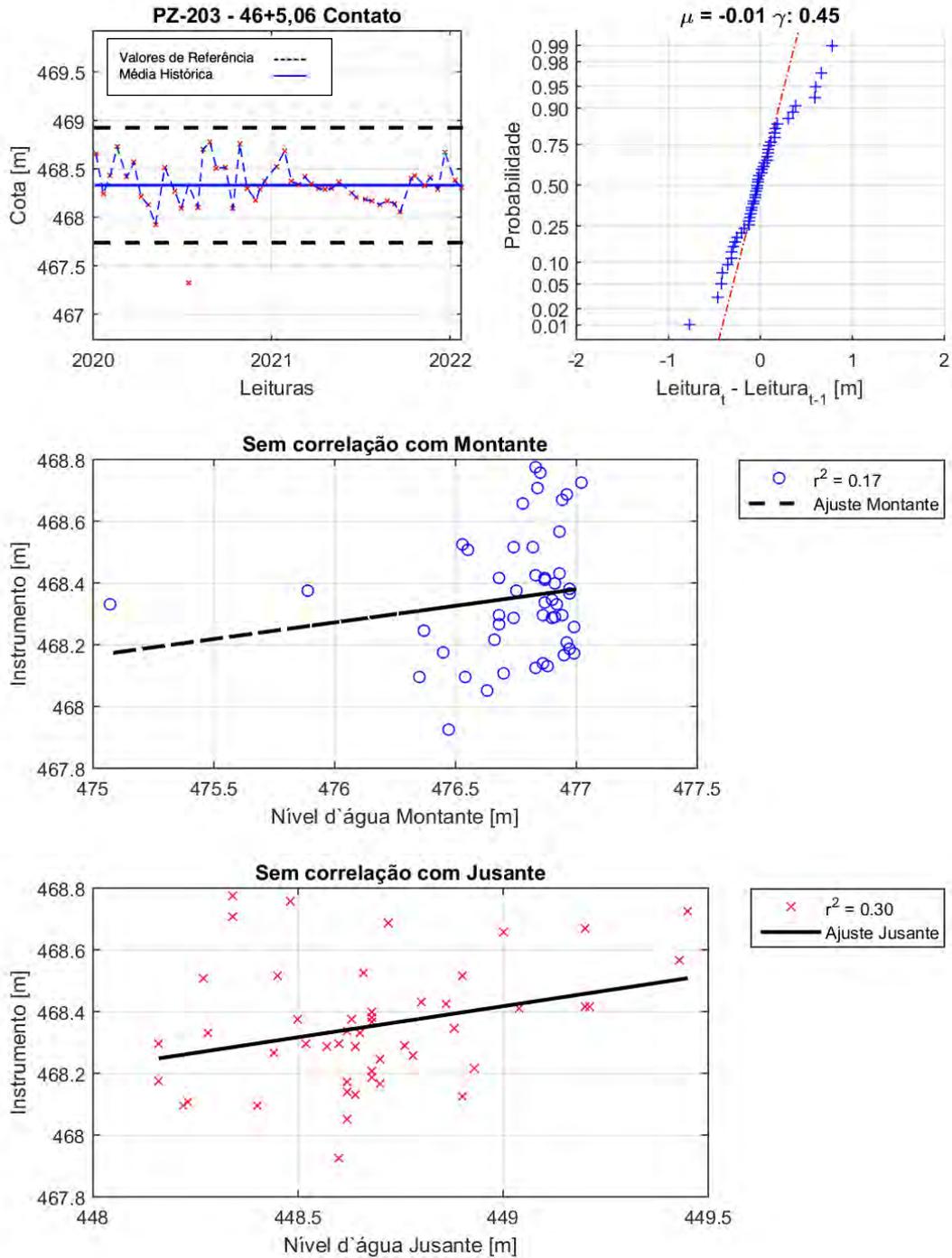


GRÁFICO 81. PZ 203 - 46 + 5,06 CONTATO.

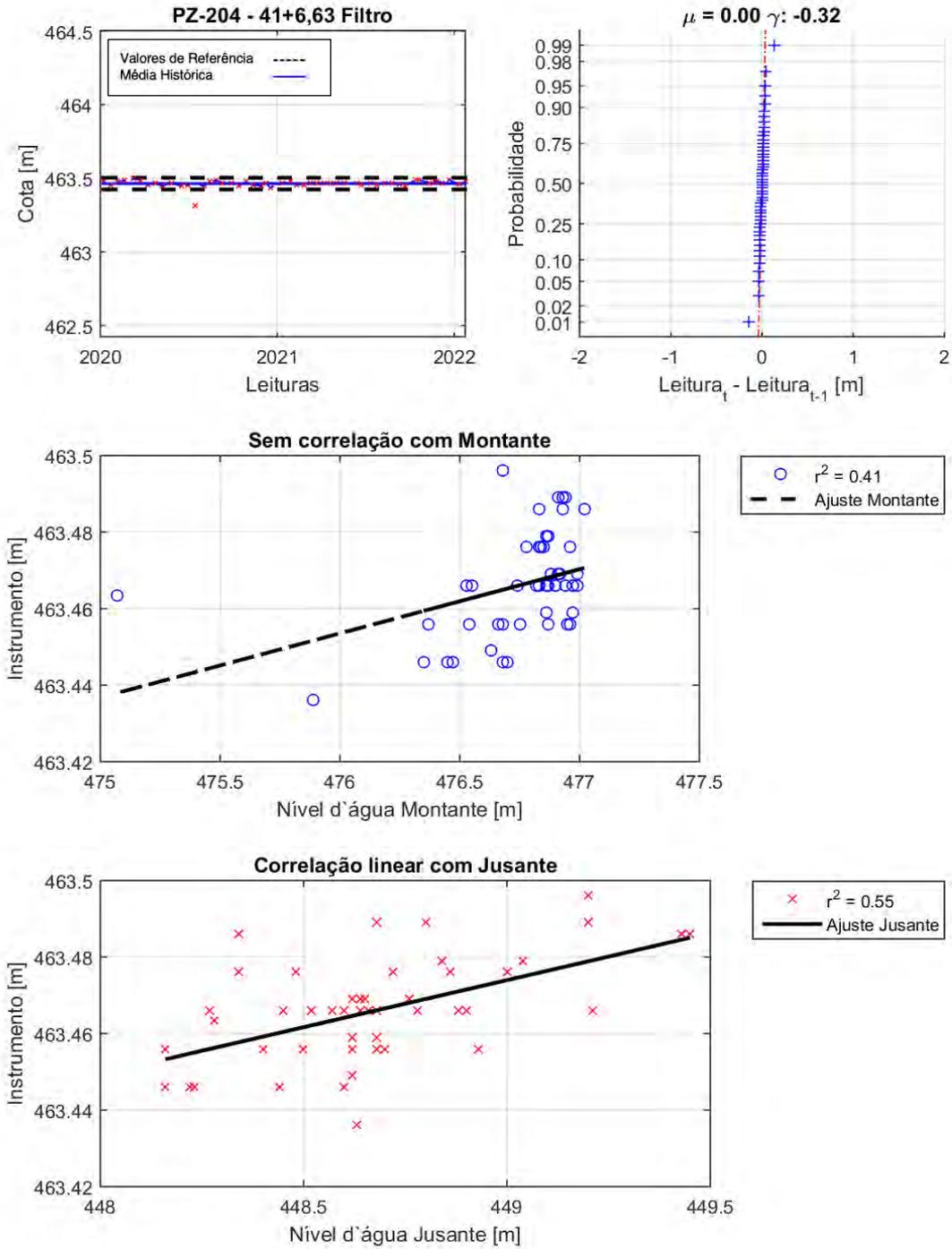


GRÁFICO 82. PZ 204 - 41 + 6,63 FILTRO.

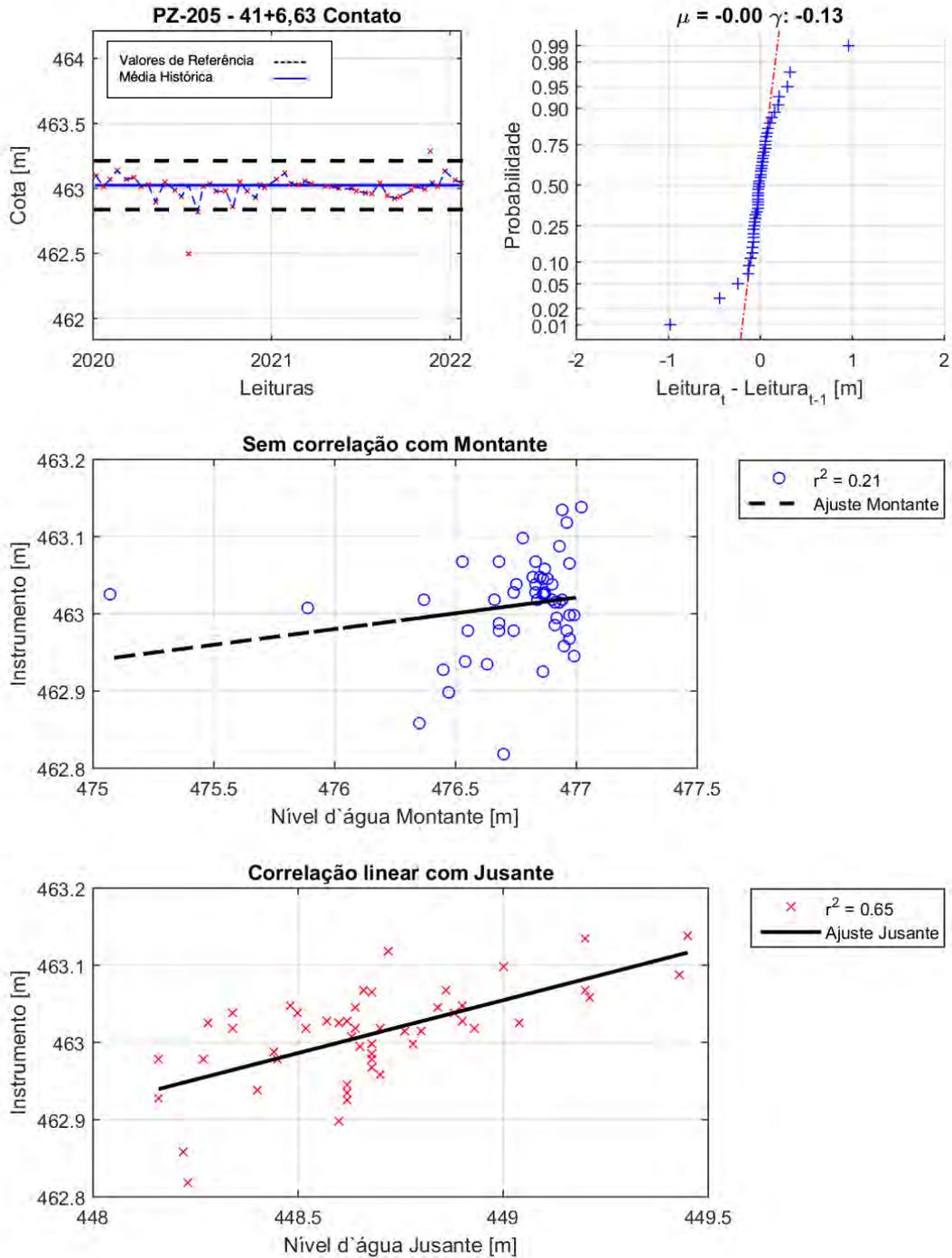


GRÁFICO 83. PZ 205 - 41 + 6,63 CONTATO.

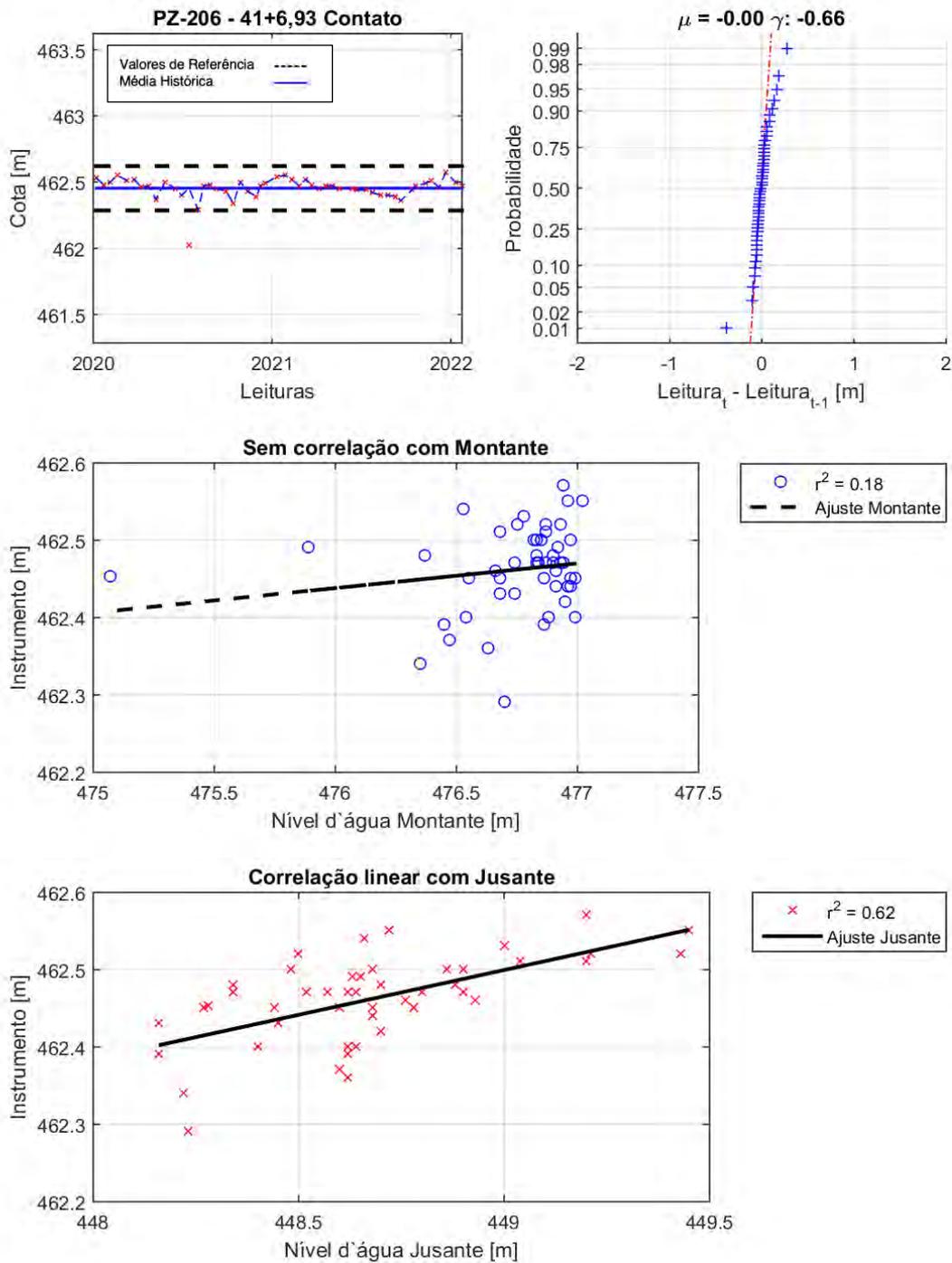


GRÁFICO 84. PZ 206 - 41 + 6,93 CONTATO.

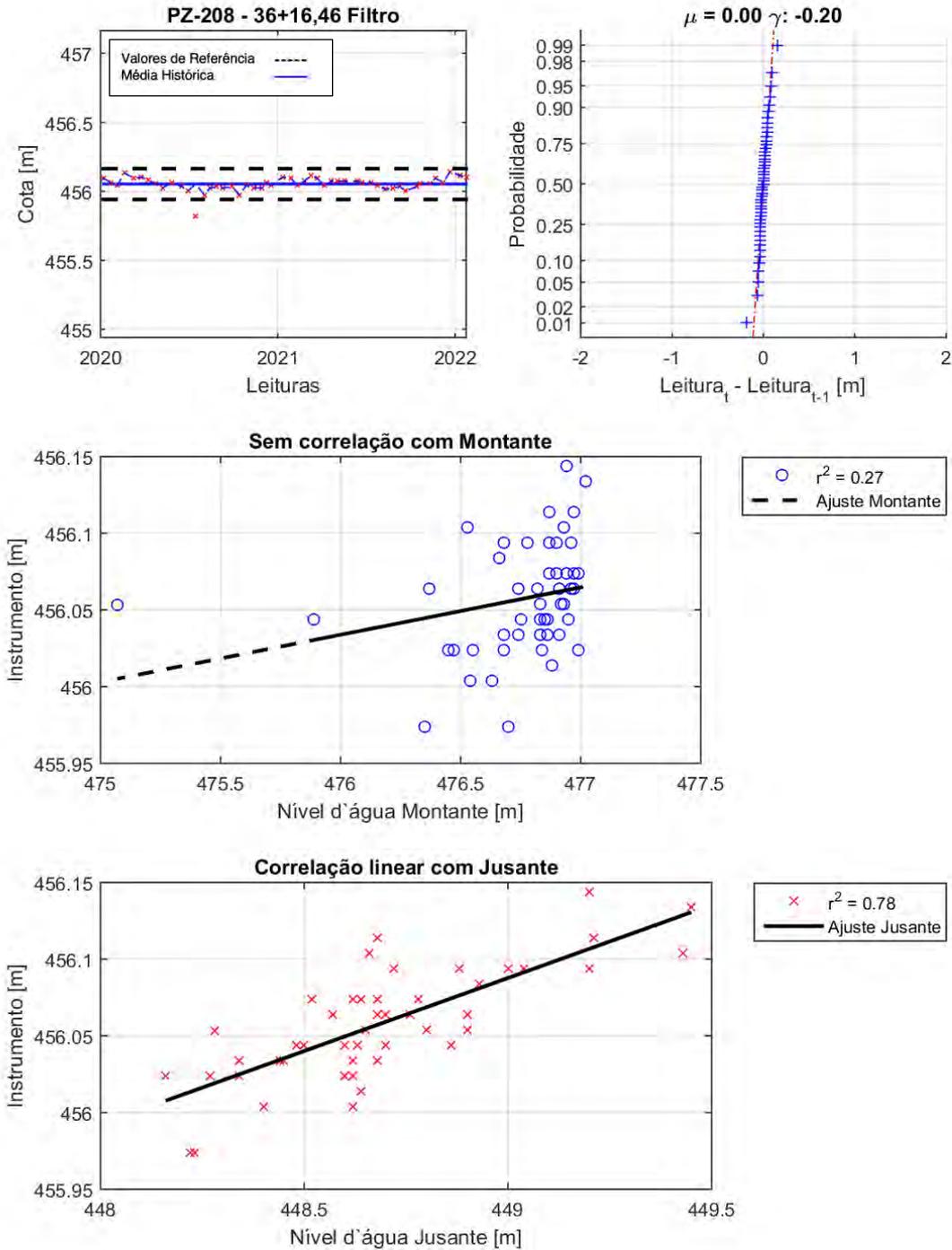


GRÁFICO 85. PZ 208 - 36 + 16,46 FILTRO.

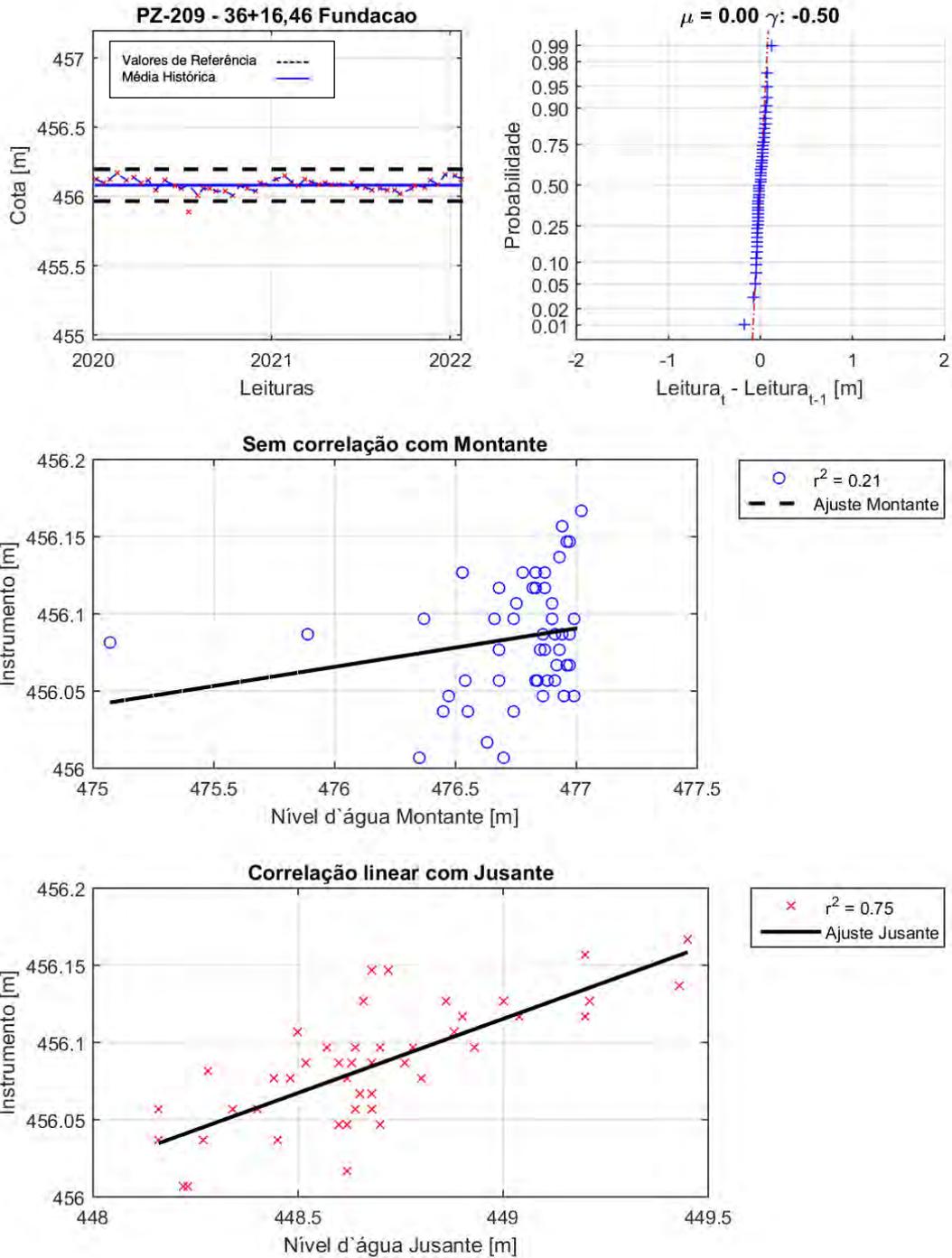


GRÁFICO 86. PZ 209 - 36 + 16,46 FUNDAÇÃO.

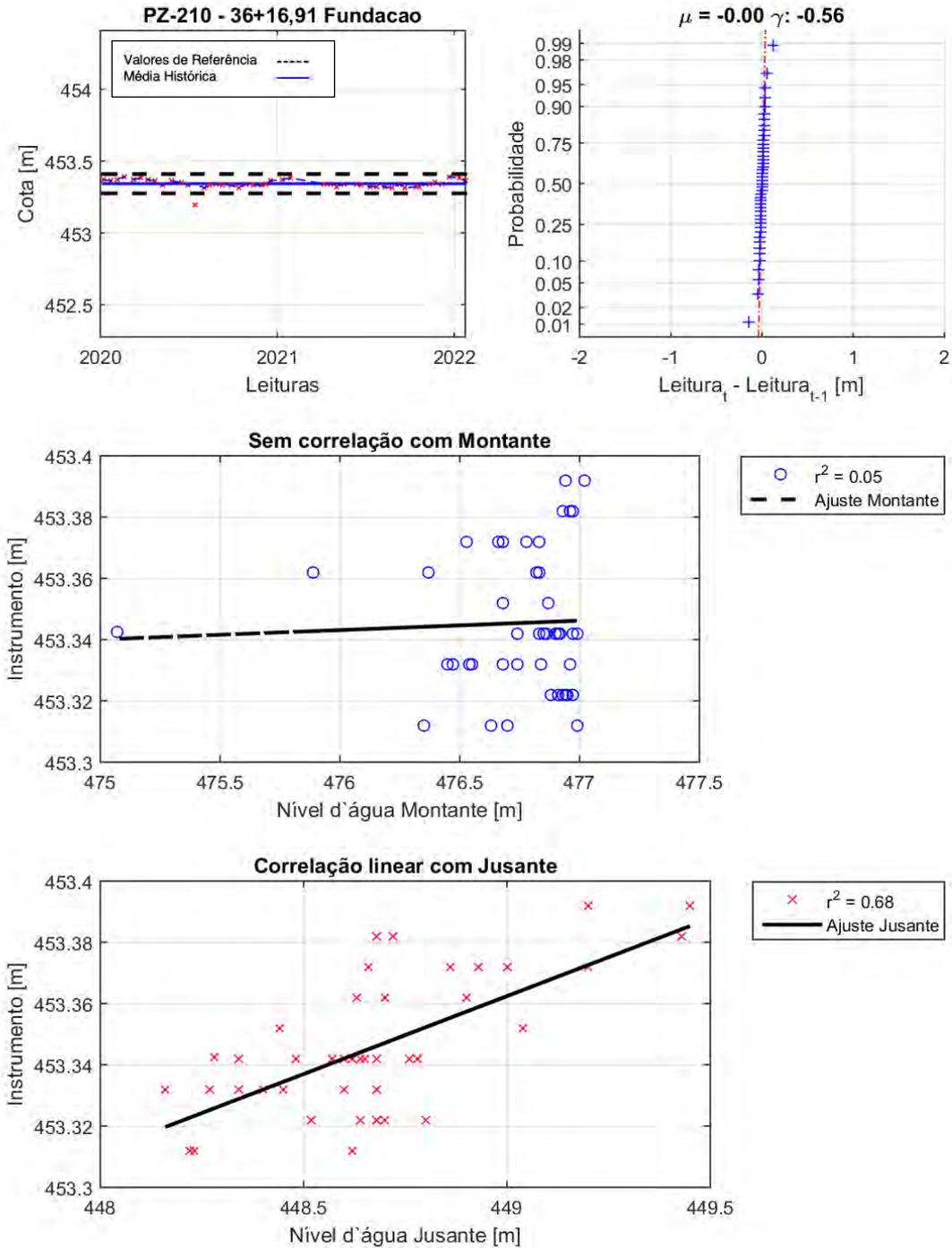


GRÁFICO 87. PZ 210 - 36 + 16,91 FUNDAÇÃO.

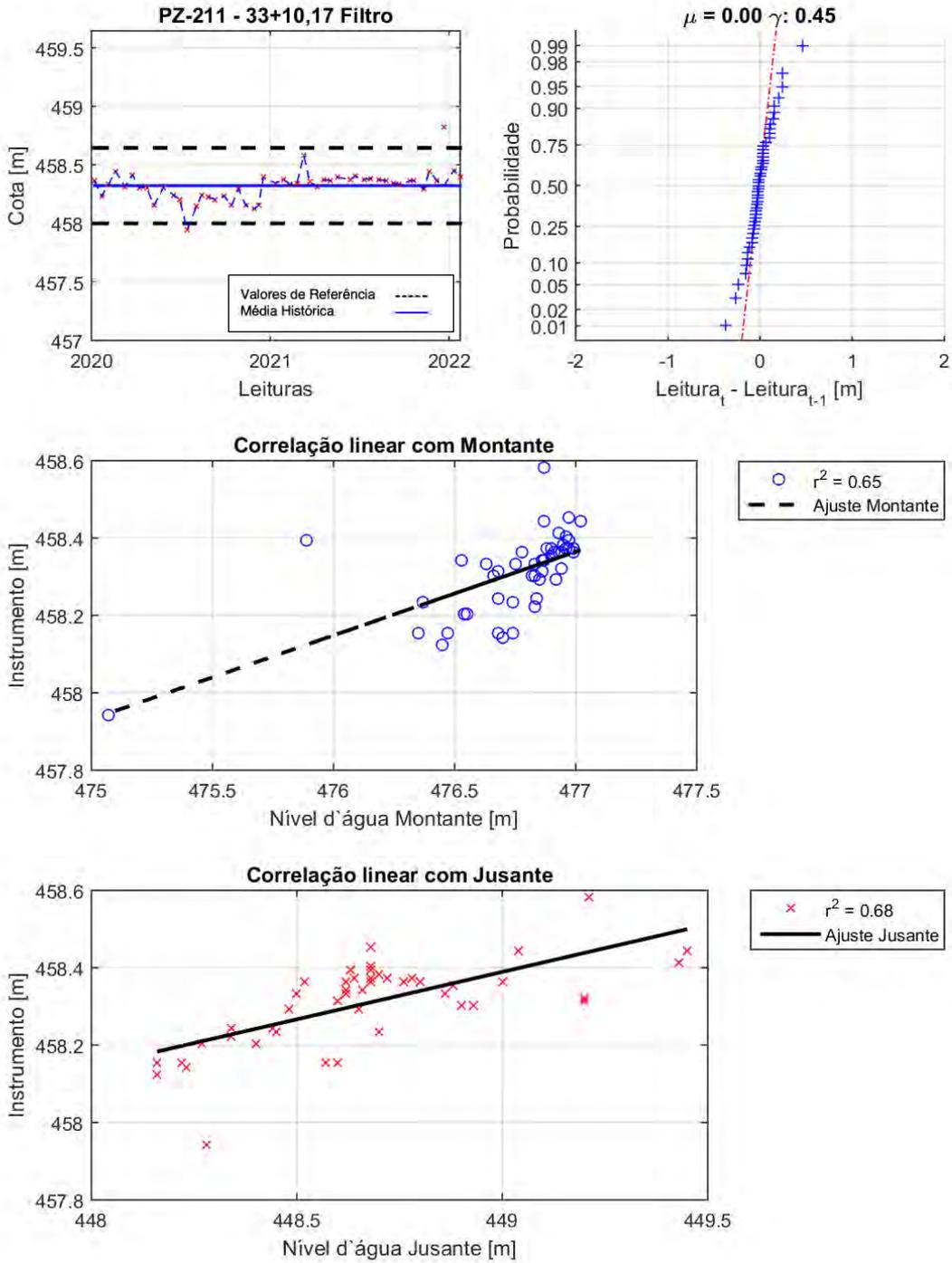


GRÁFICO 88. PZ 211 - 33 + 10,17 FILTRO.

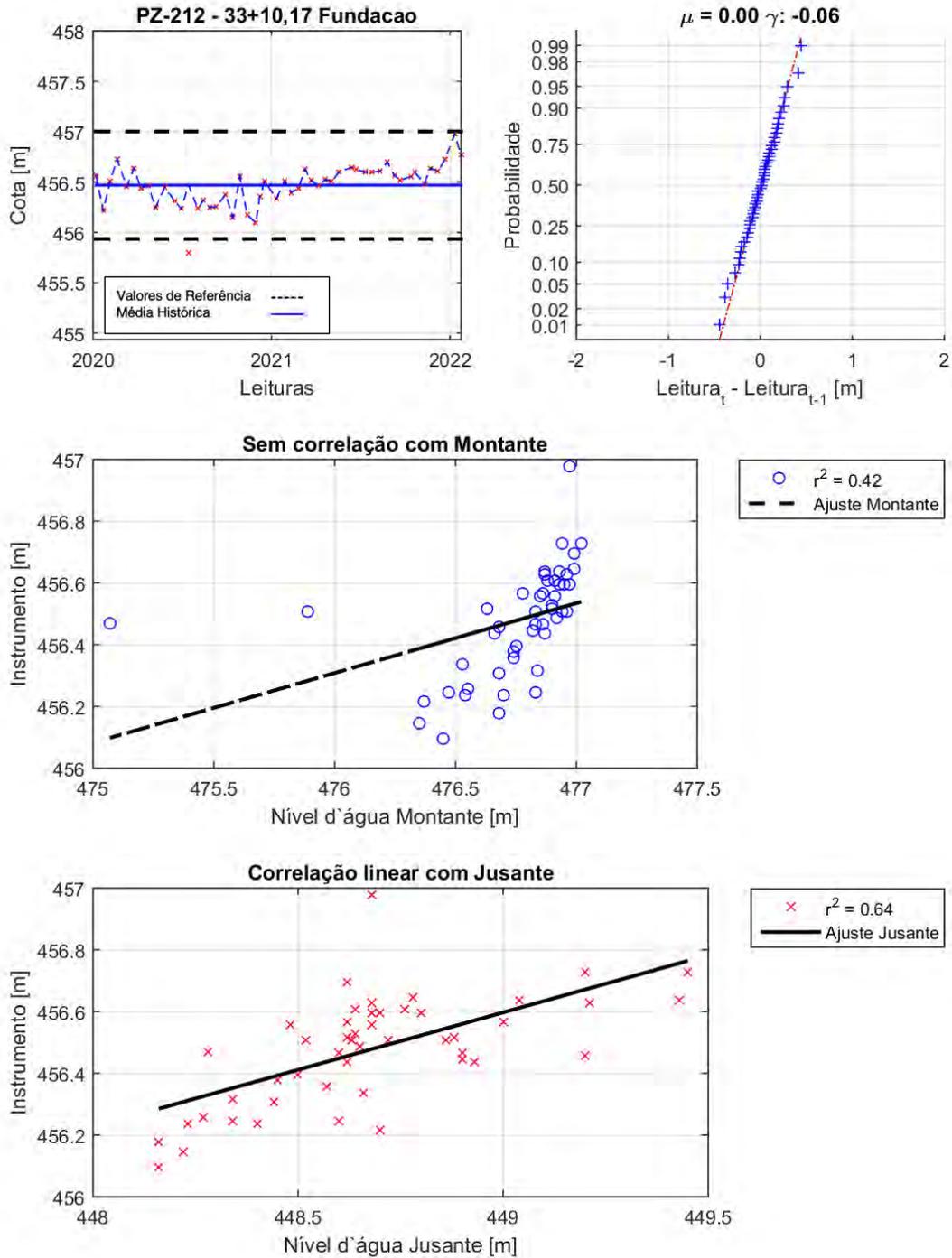


GRÁFICO 89. PZ 212 - 33 + 10,17 FUNDAÇÃO.

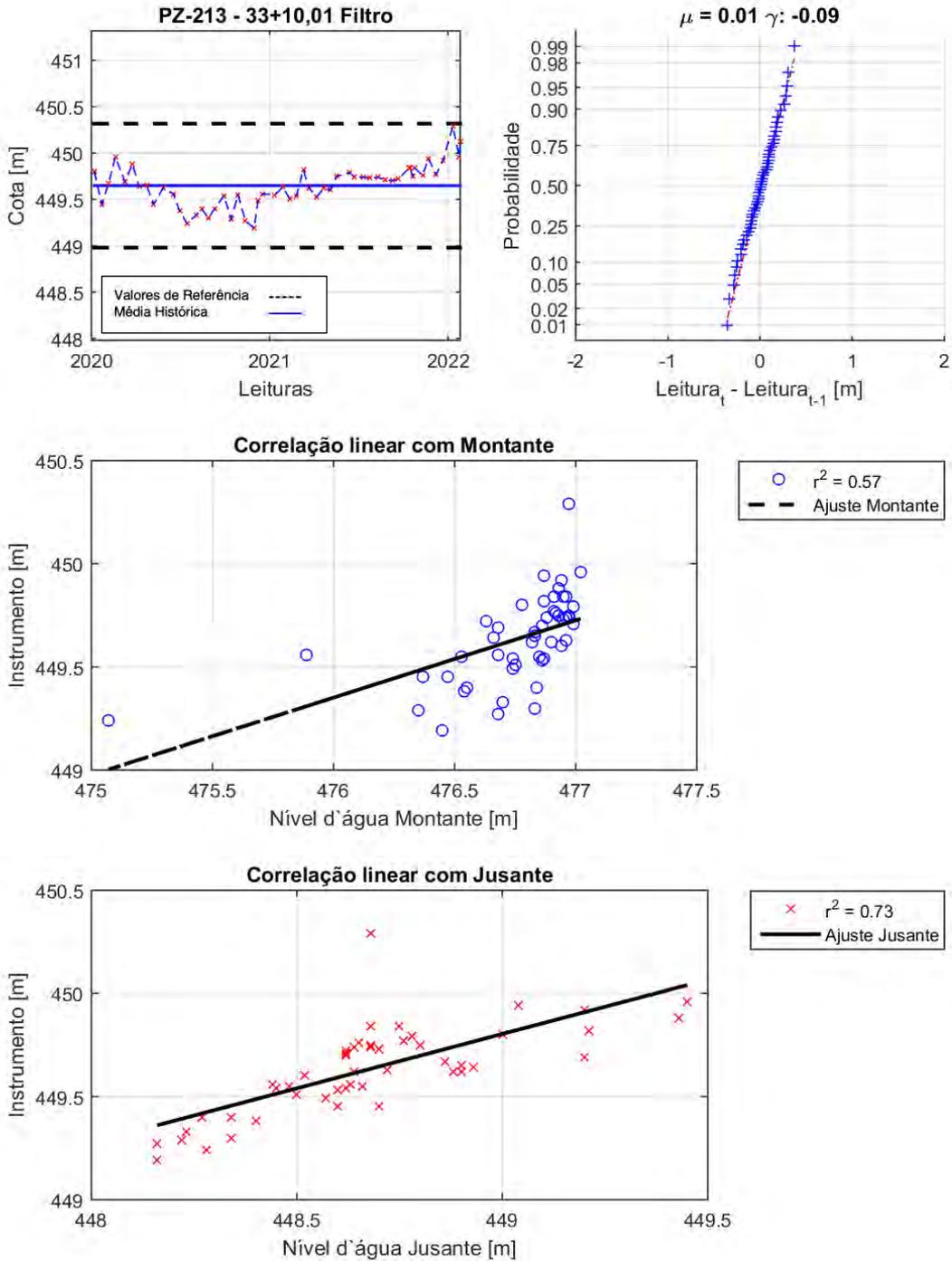


GRÁFICO 90. PZ 213 - 33 + 10,01 FILTRO.

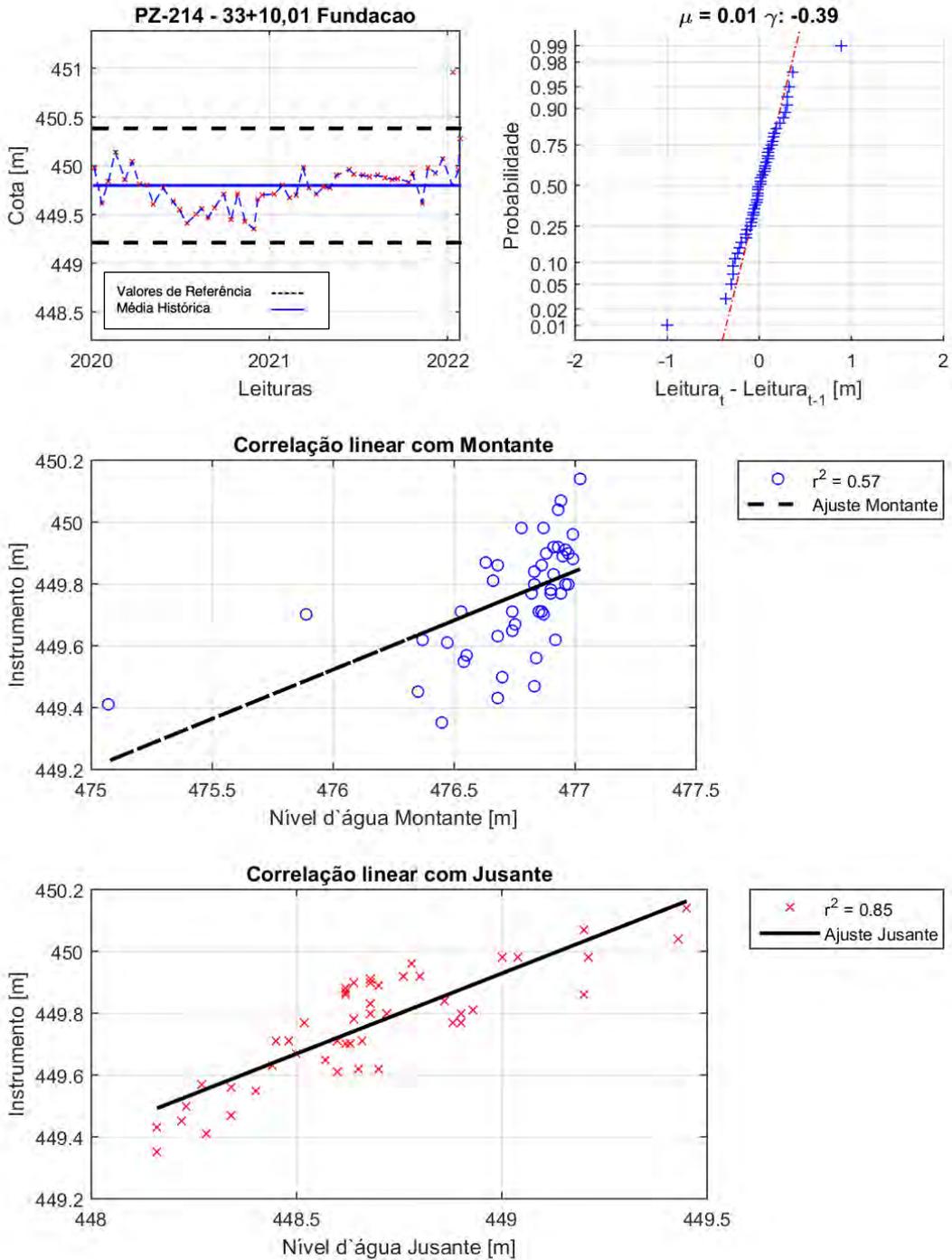


GRÁFICO 91. PZ 214 - 33 + 10,01 FUNDAÇÃO.

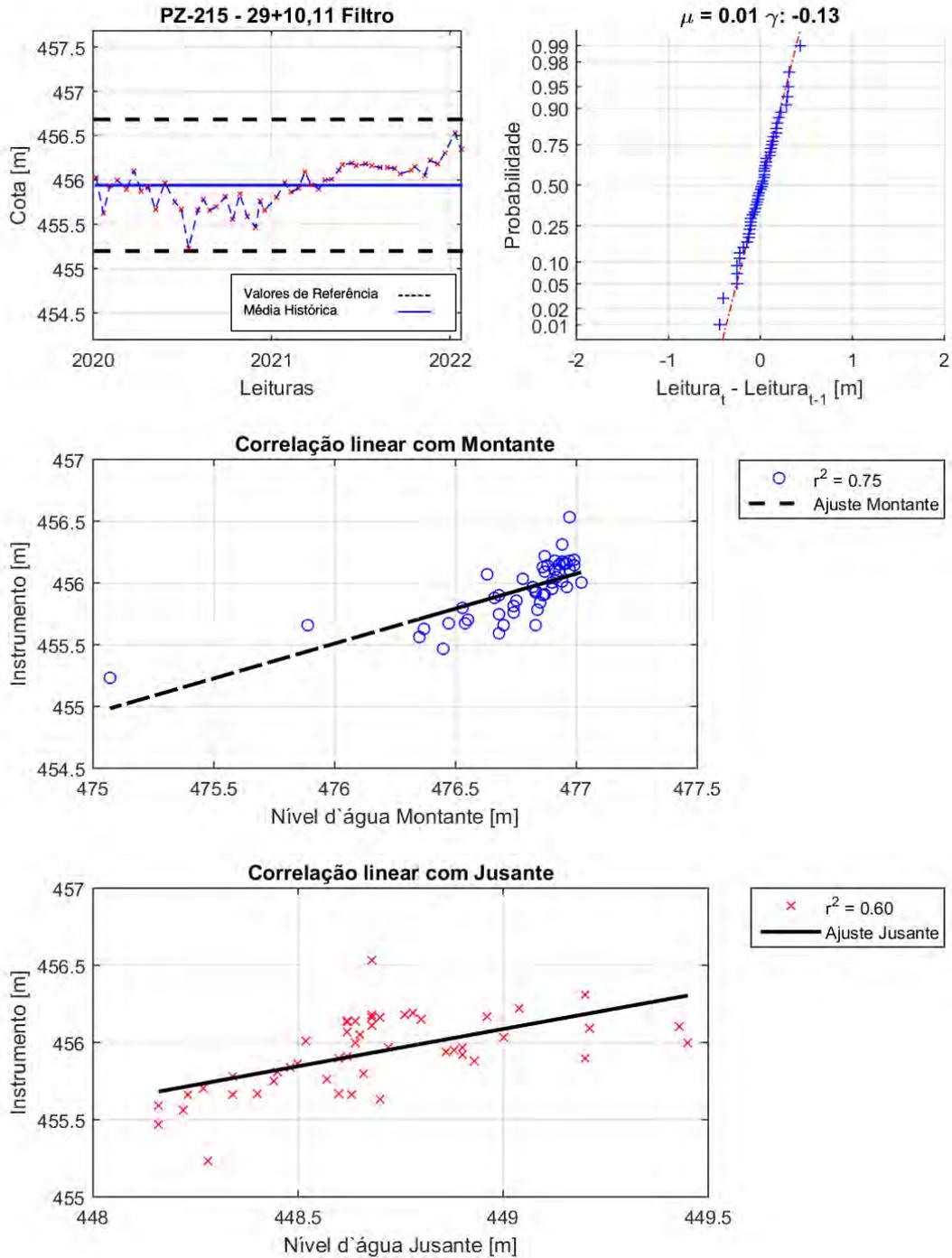


GRÁFICO 92. PZ 215 - 29 + 10,11 FILTRO.

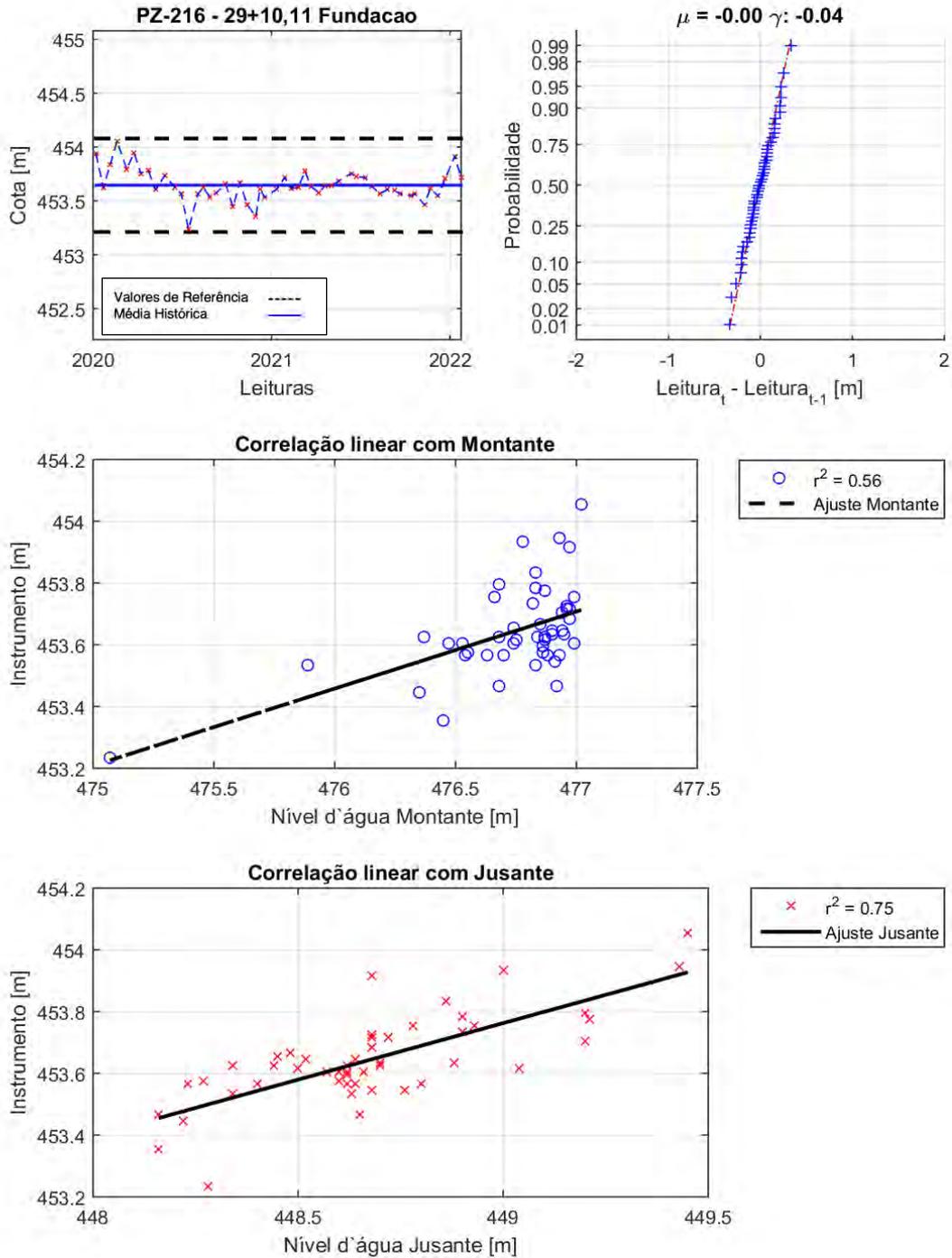


GRÁFICO 93. PZ 216 - 29 + 10,11 FUNDAÇÃO.

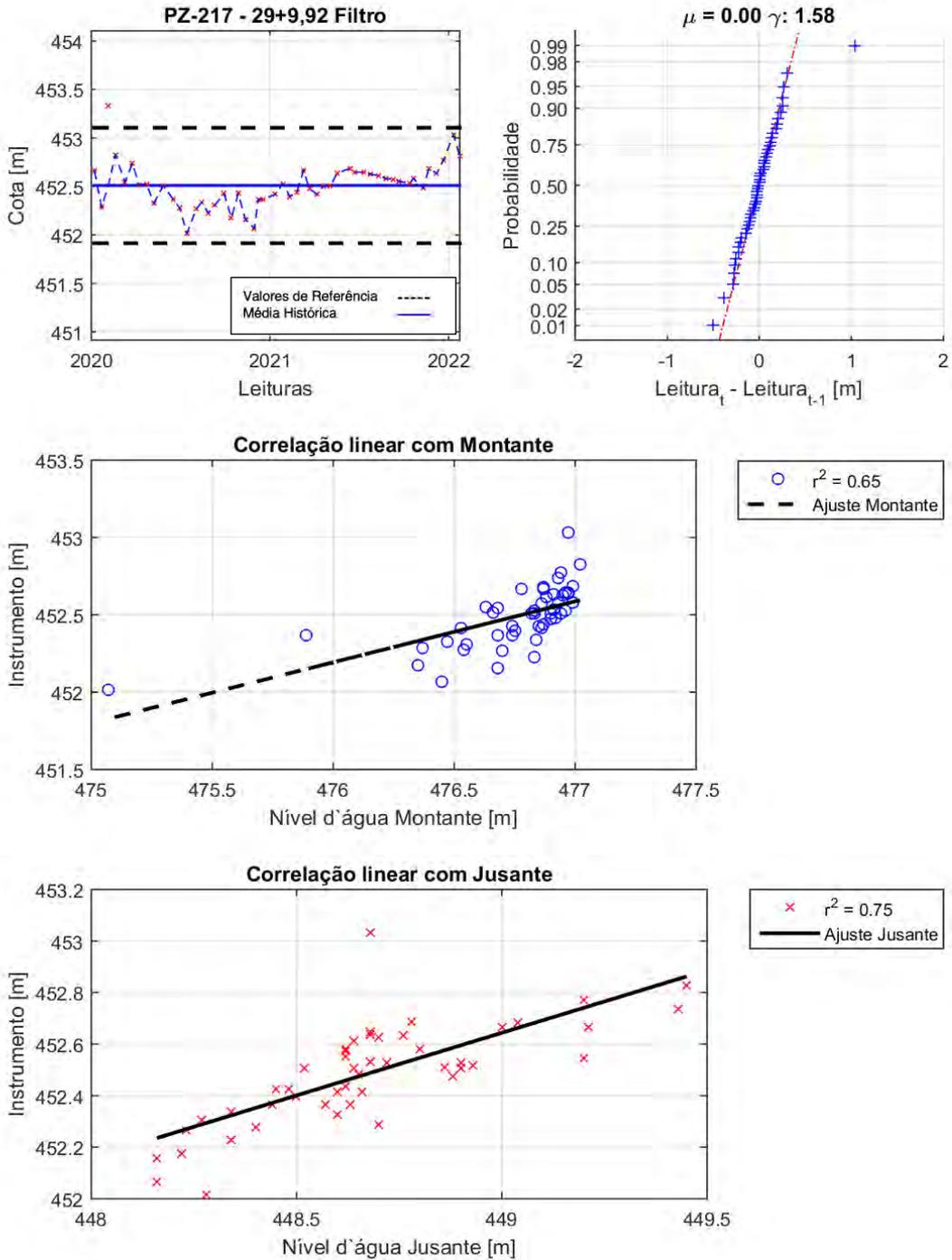


GRÁFICO 94. PZ 217 - 29 + 9,92 FILTRO.

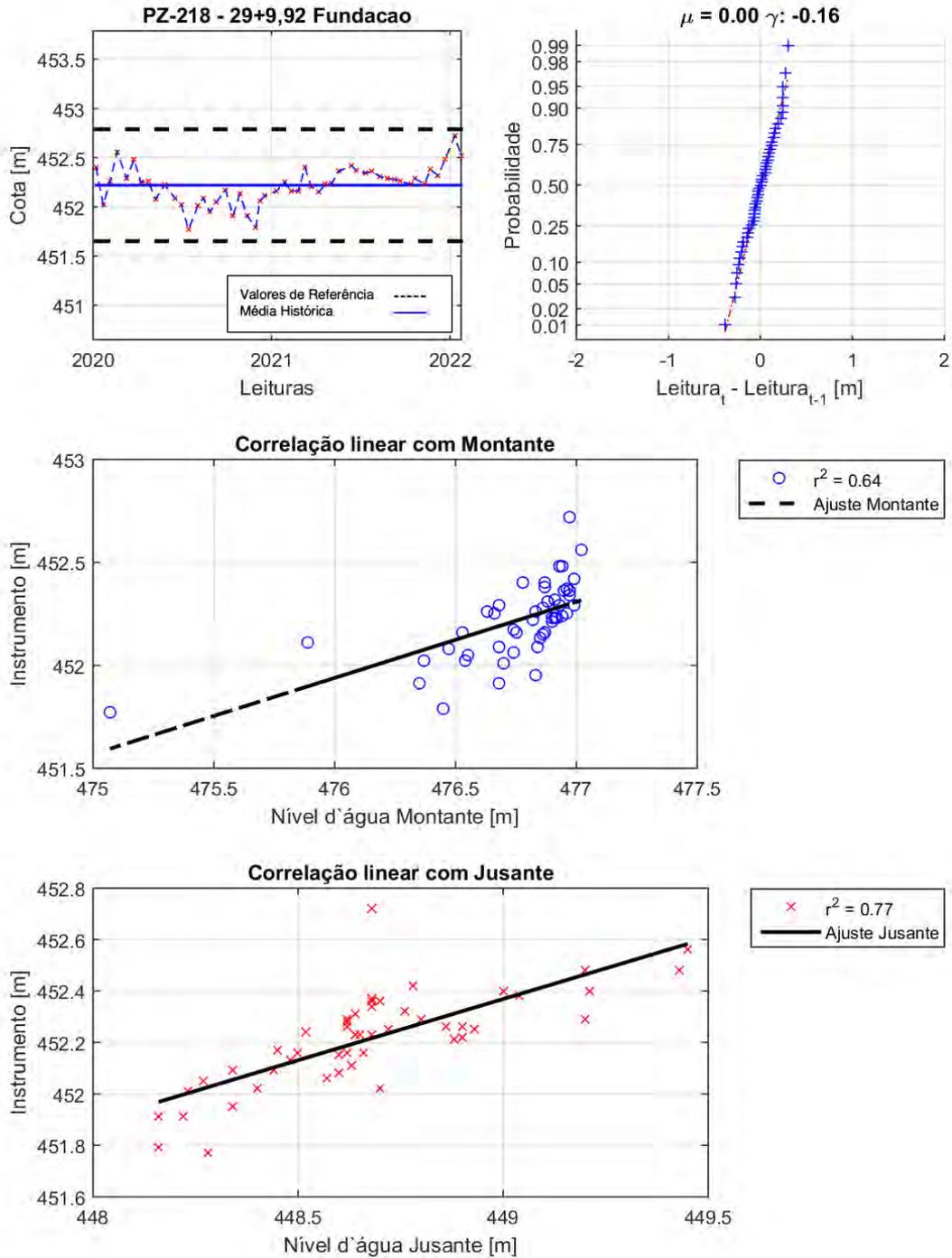


GRÁFICO 95. PZ 218 - 29 + 9,92 FUNDAÇÃO.

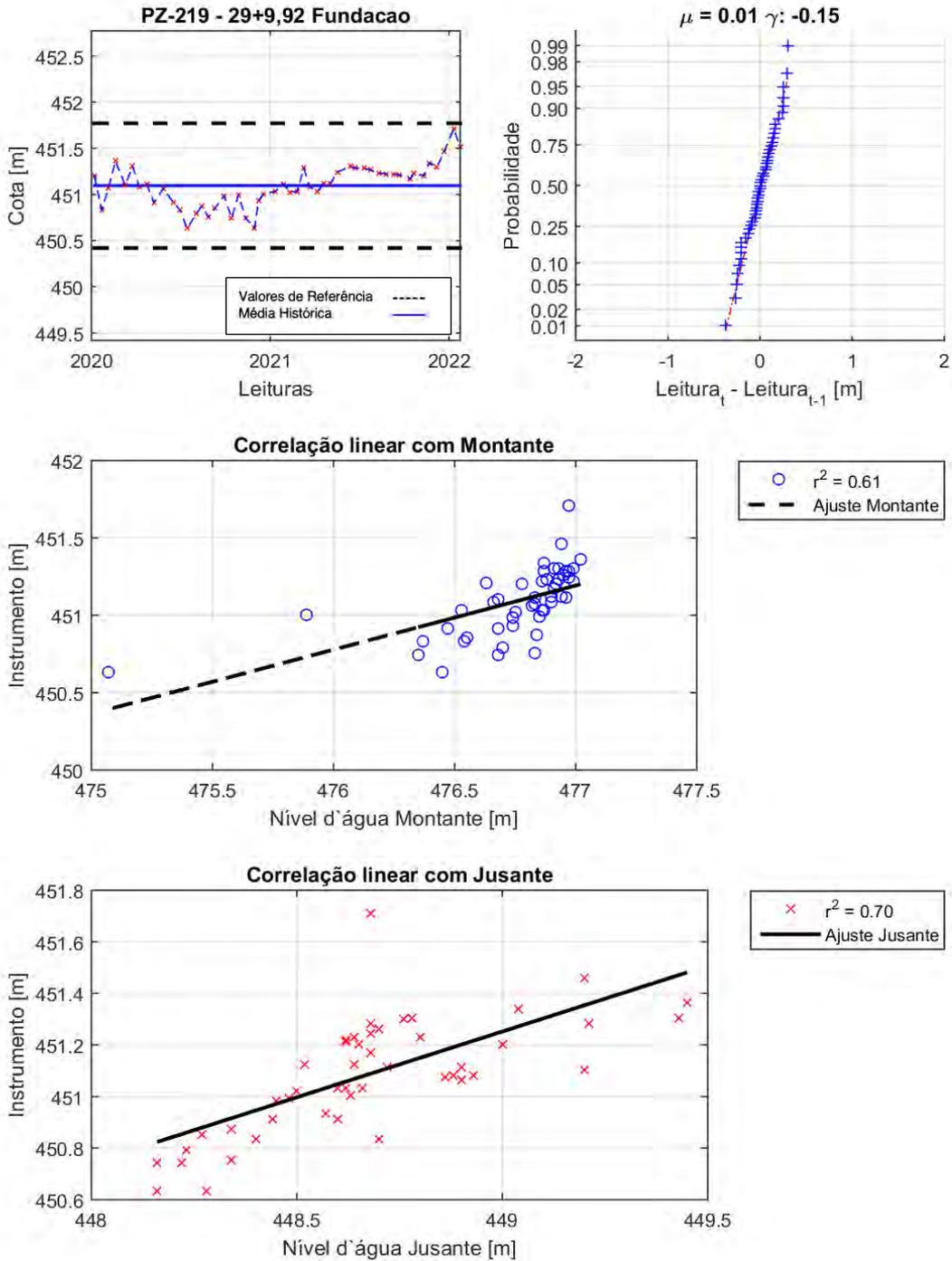


GRÁFICO 96. PZ 219 - 29 + 9,92 FUNDAÇÃO.

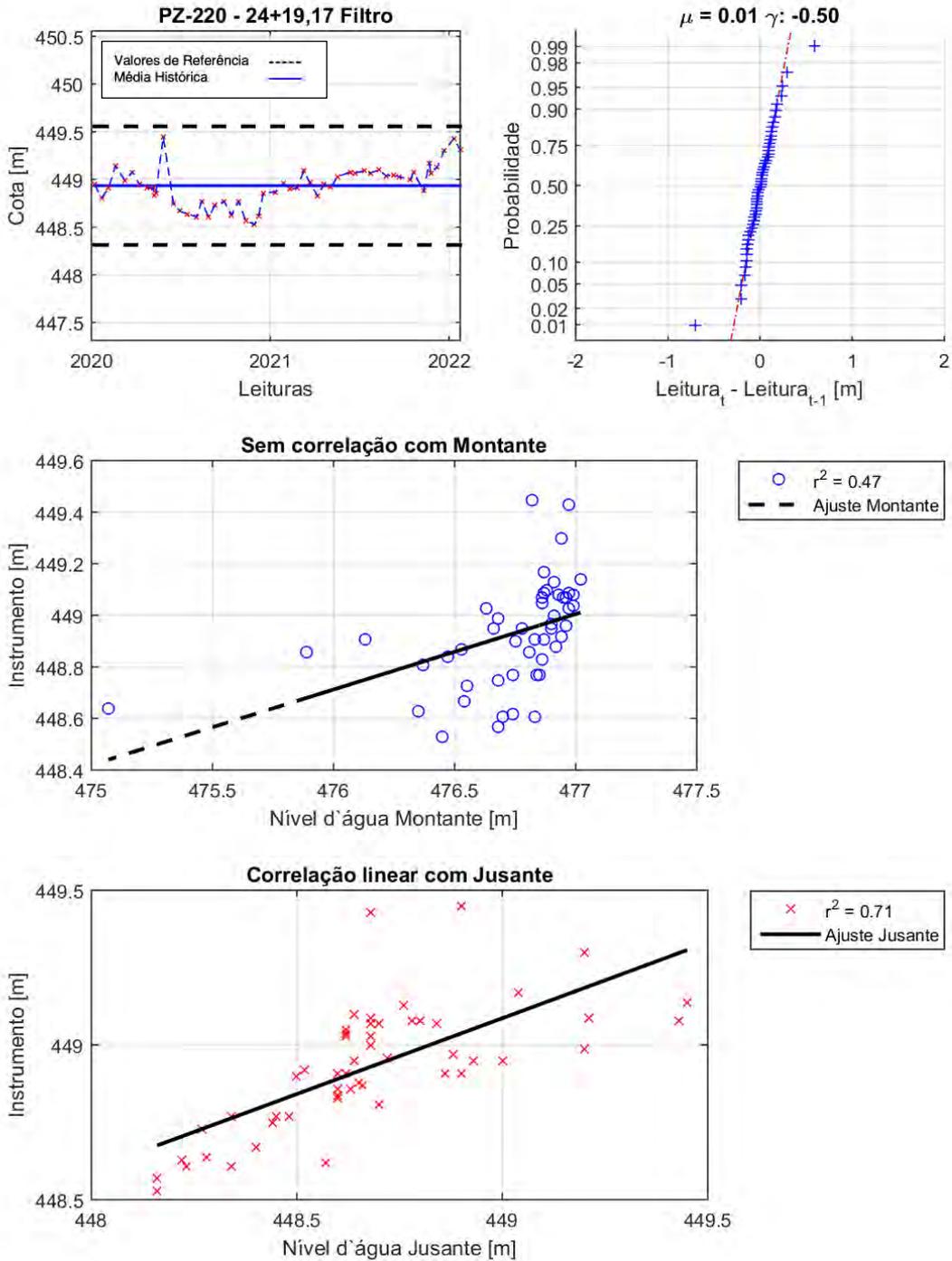


GRÁFICO 97. PZ 220 - 24 + 19,17 FILTRO.

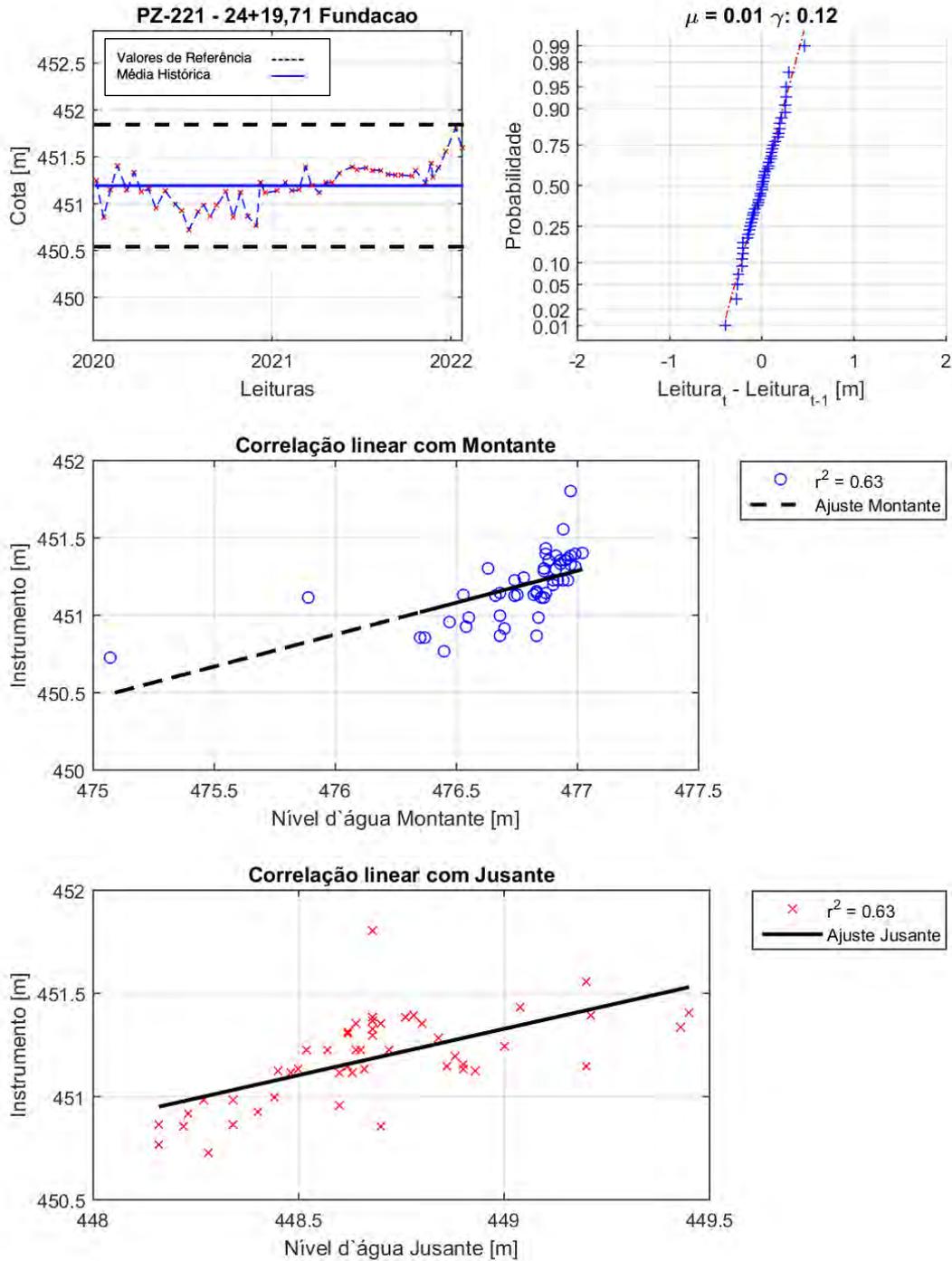


GRÁFICO 98. PZ 221 - 24 + 19,71 FUNDAÇÃO.

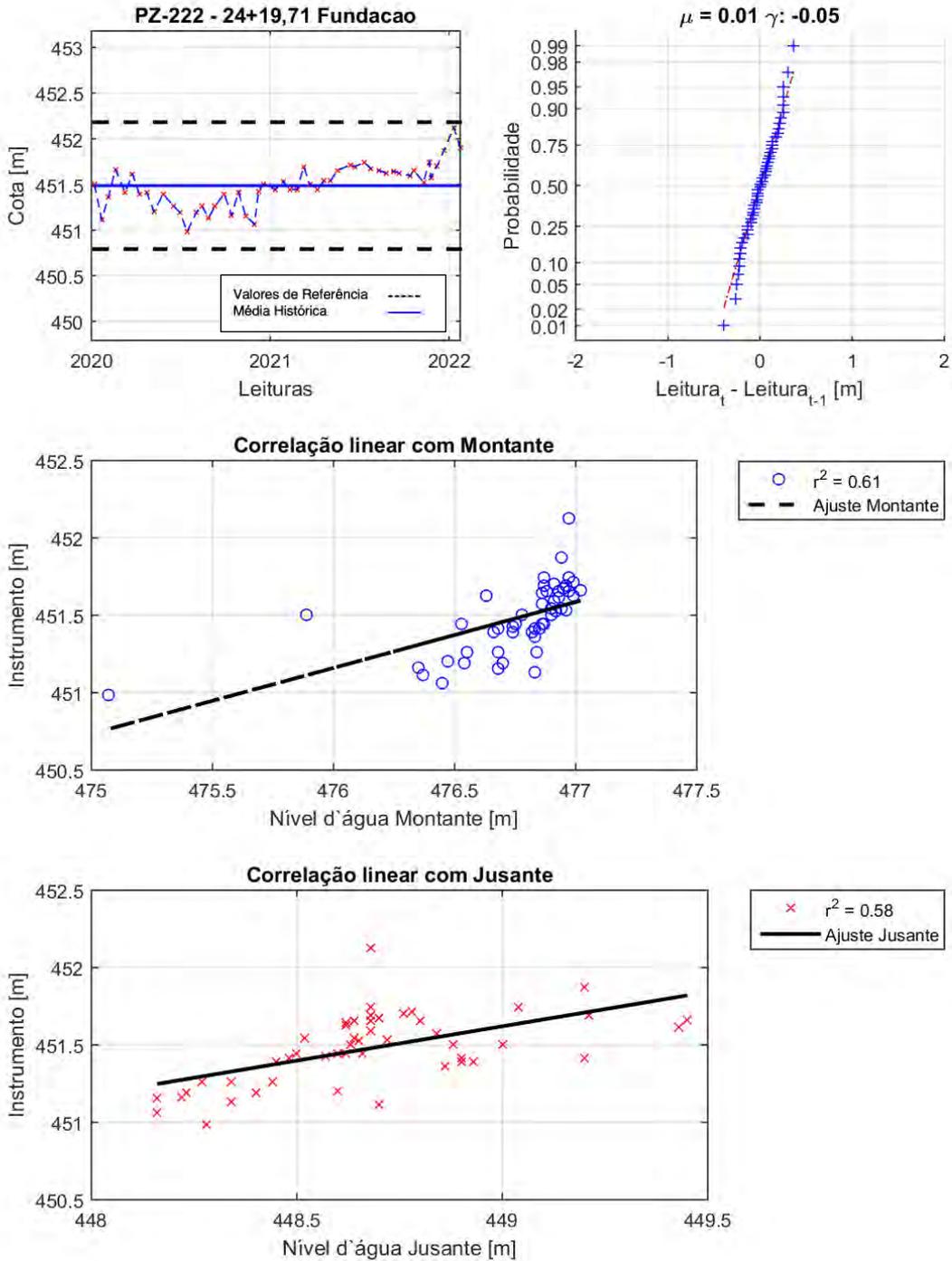


GRÁFICO 99. PZ 222 - 24 + 19,71 FUNDAÇÃO.

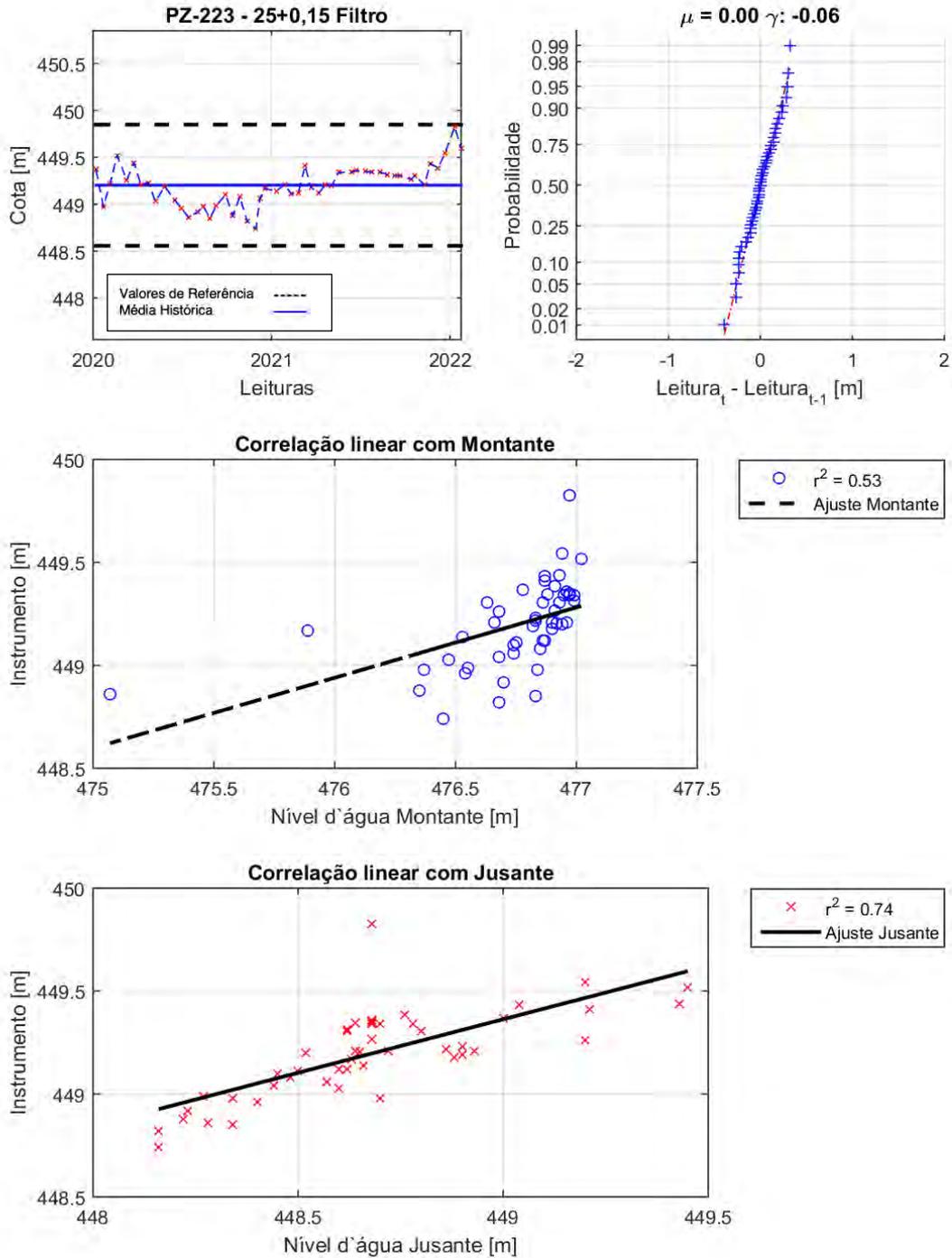


GRÁFICO 100. PZ 223 - 25 + 0,15 FILTRO.

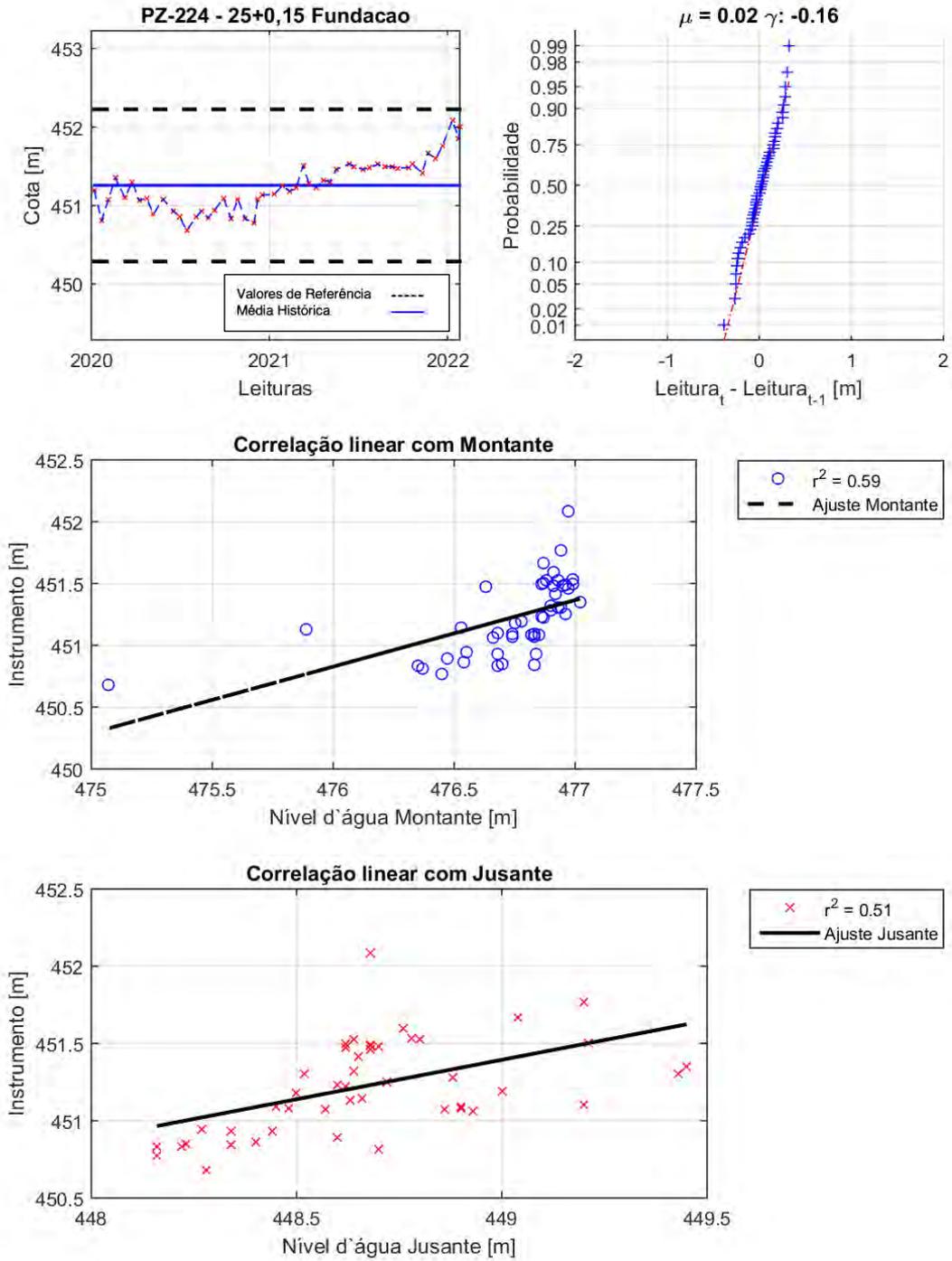


GRÁFICO 101. PZ 224 - 25 + 0,15 FUNDAÇÃO.

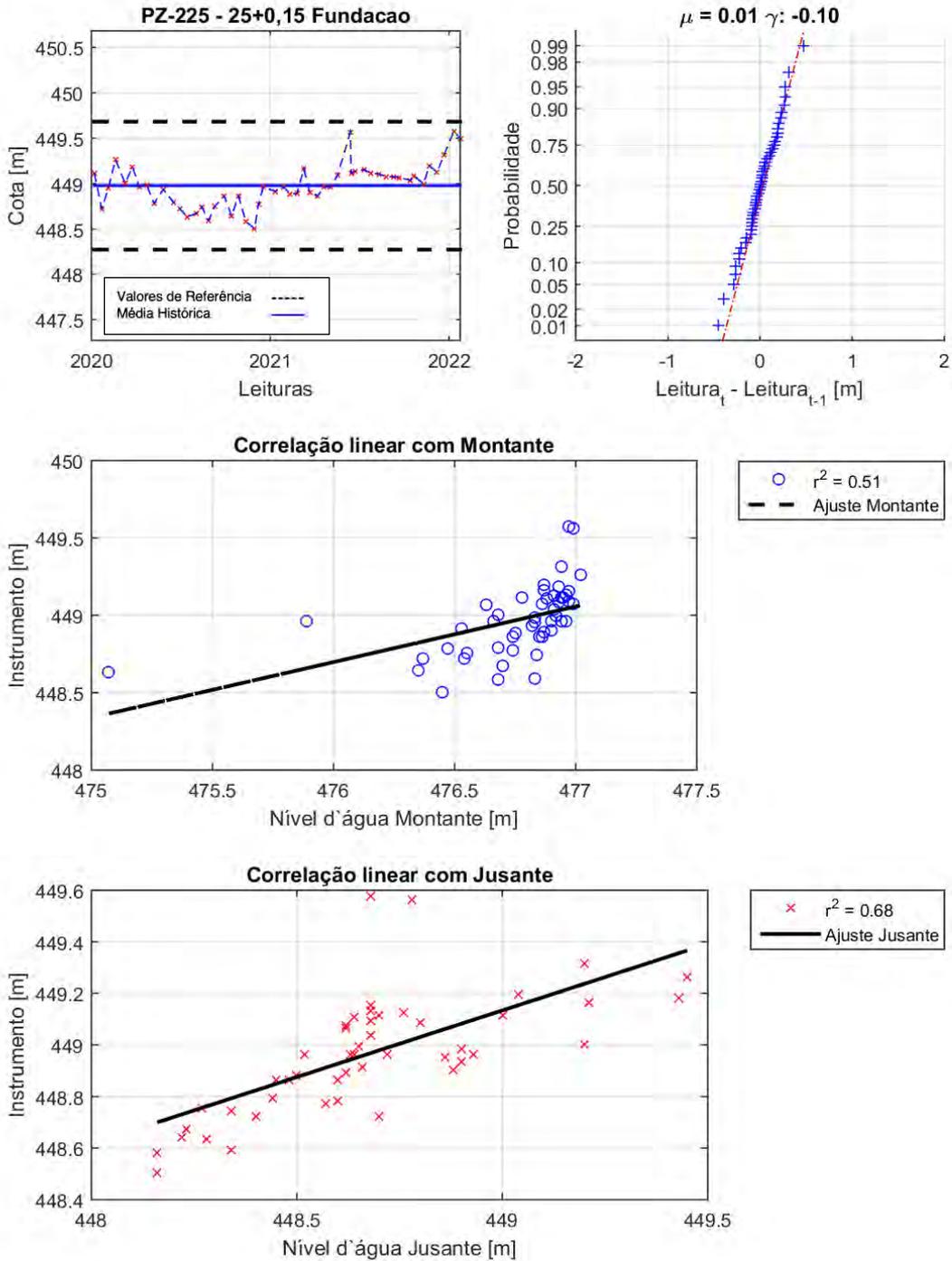


GRÁFICO 102. PZ 225 - 25 + 0,15 FUNDAÇÃO.

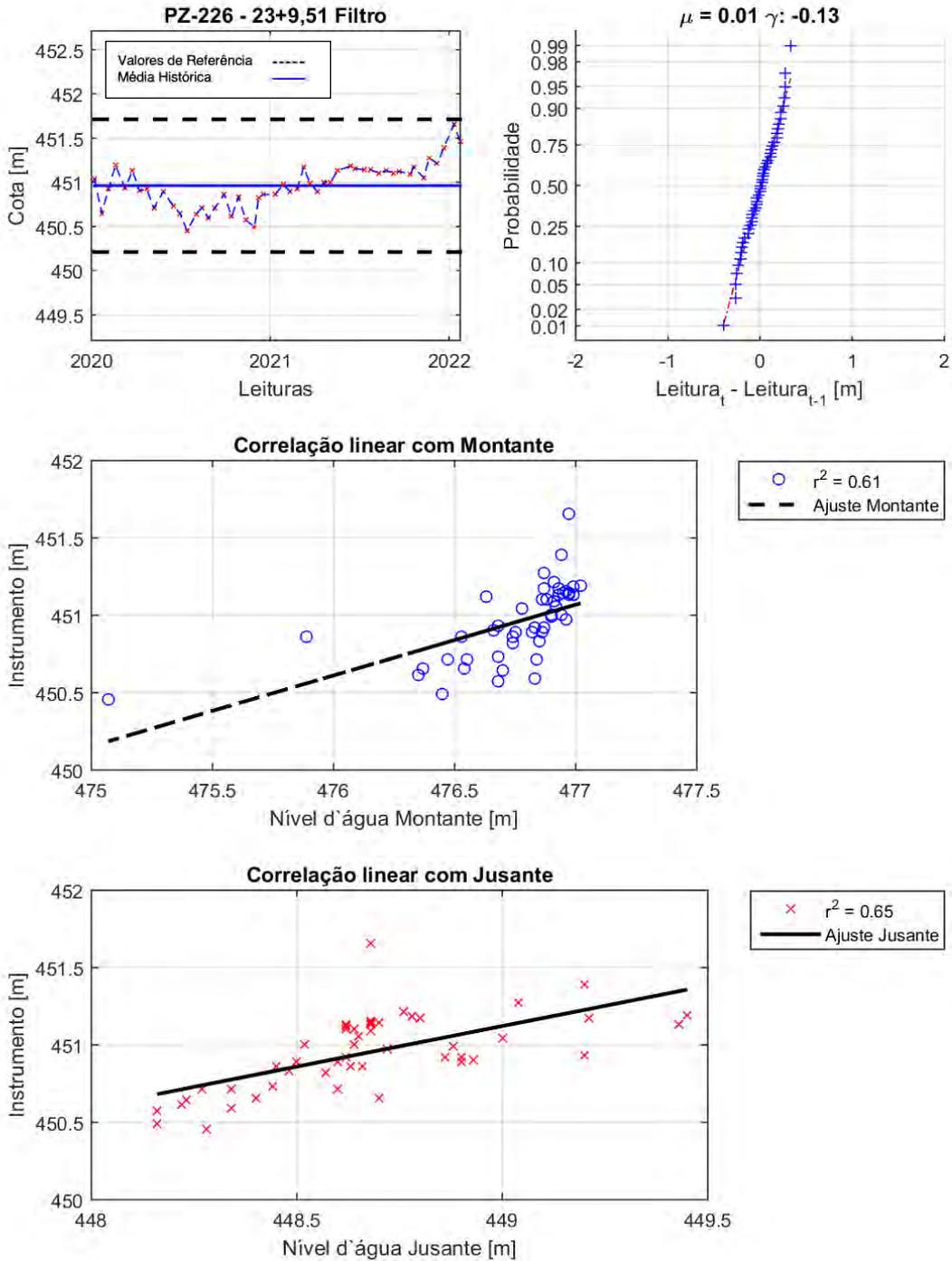


GRÁFICO 103. PZ 226 - 23+ 9,51 FILTRO.

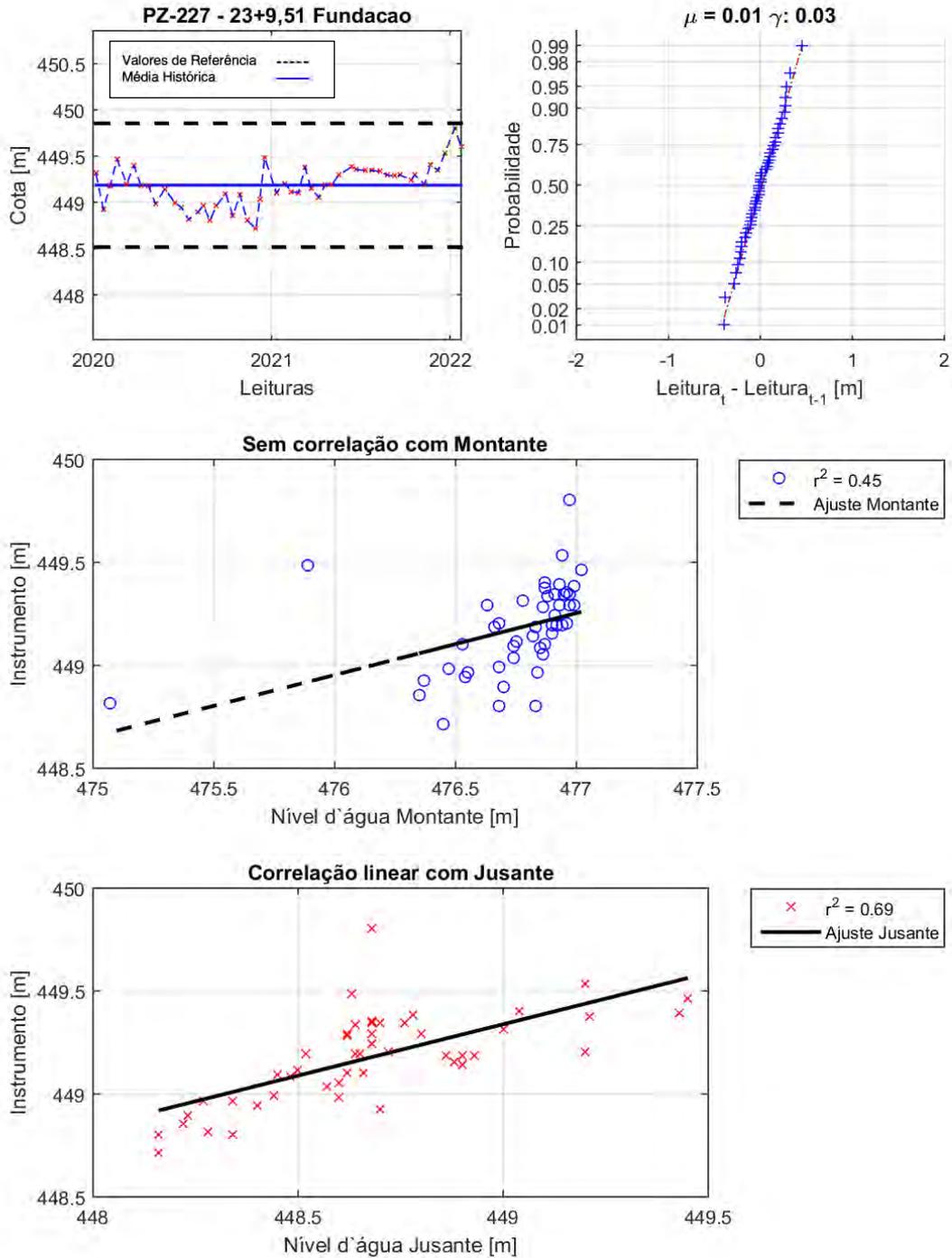


GRÁFICO 104. PZ 227 - 23 + 9,51 FUNDAÇÃO.

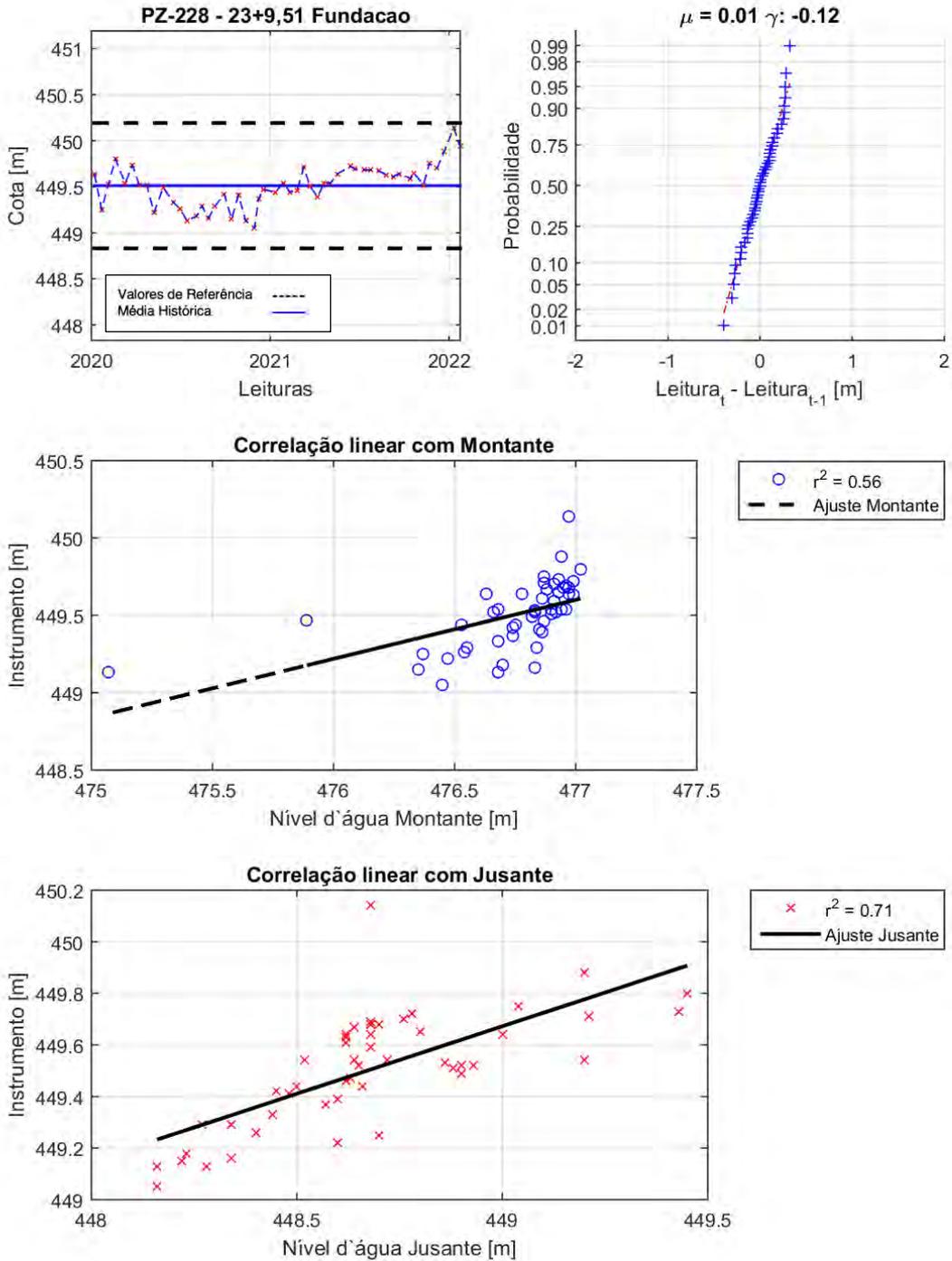


GRÁFICO 105. PZ 228 - 23 + 9,51 FUNDAÇÃO.

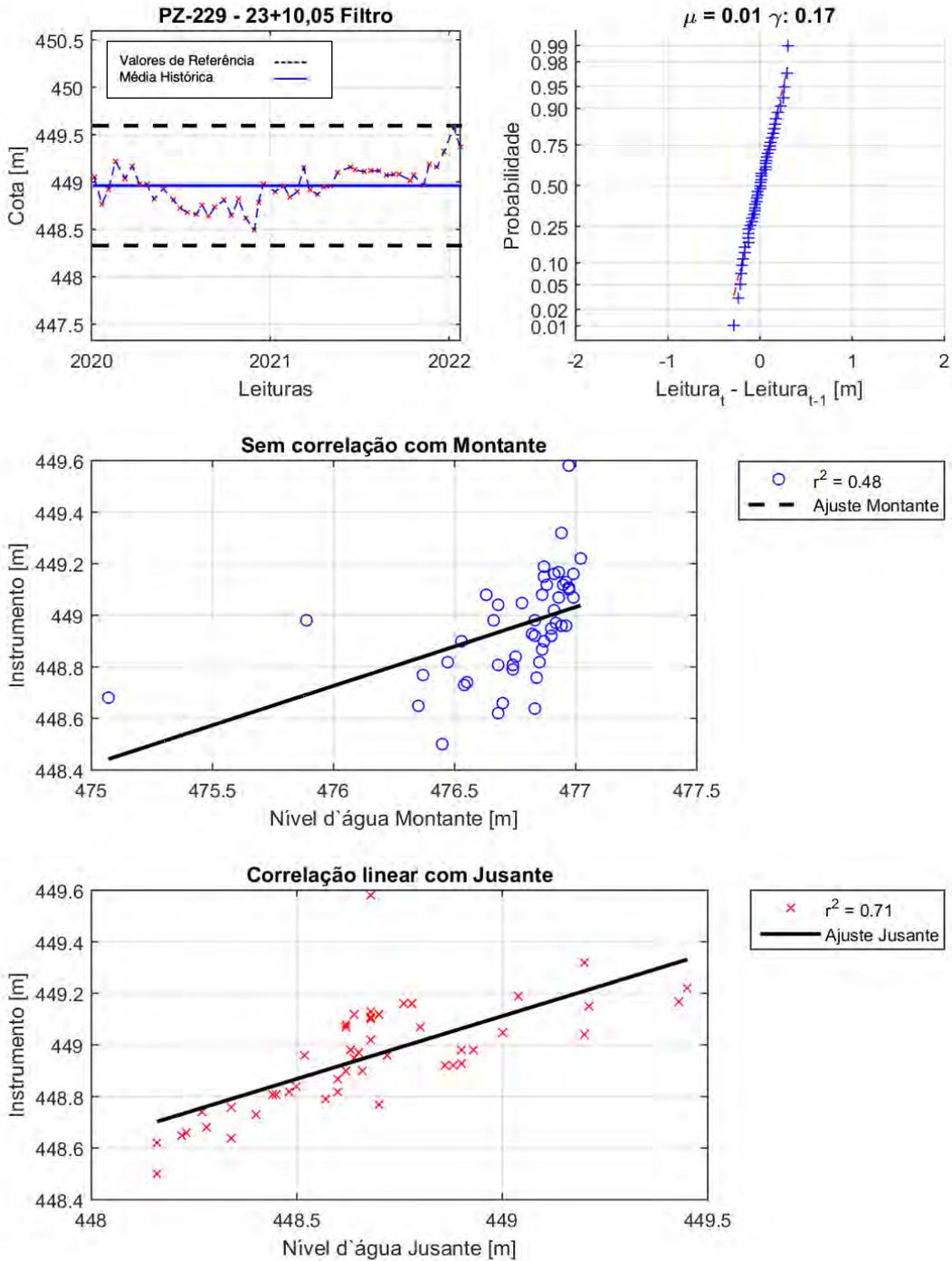


GRÁFICO 106. PZ 229 - 23+ 10,05 FILTRO.

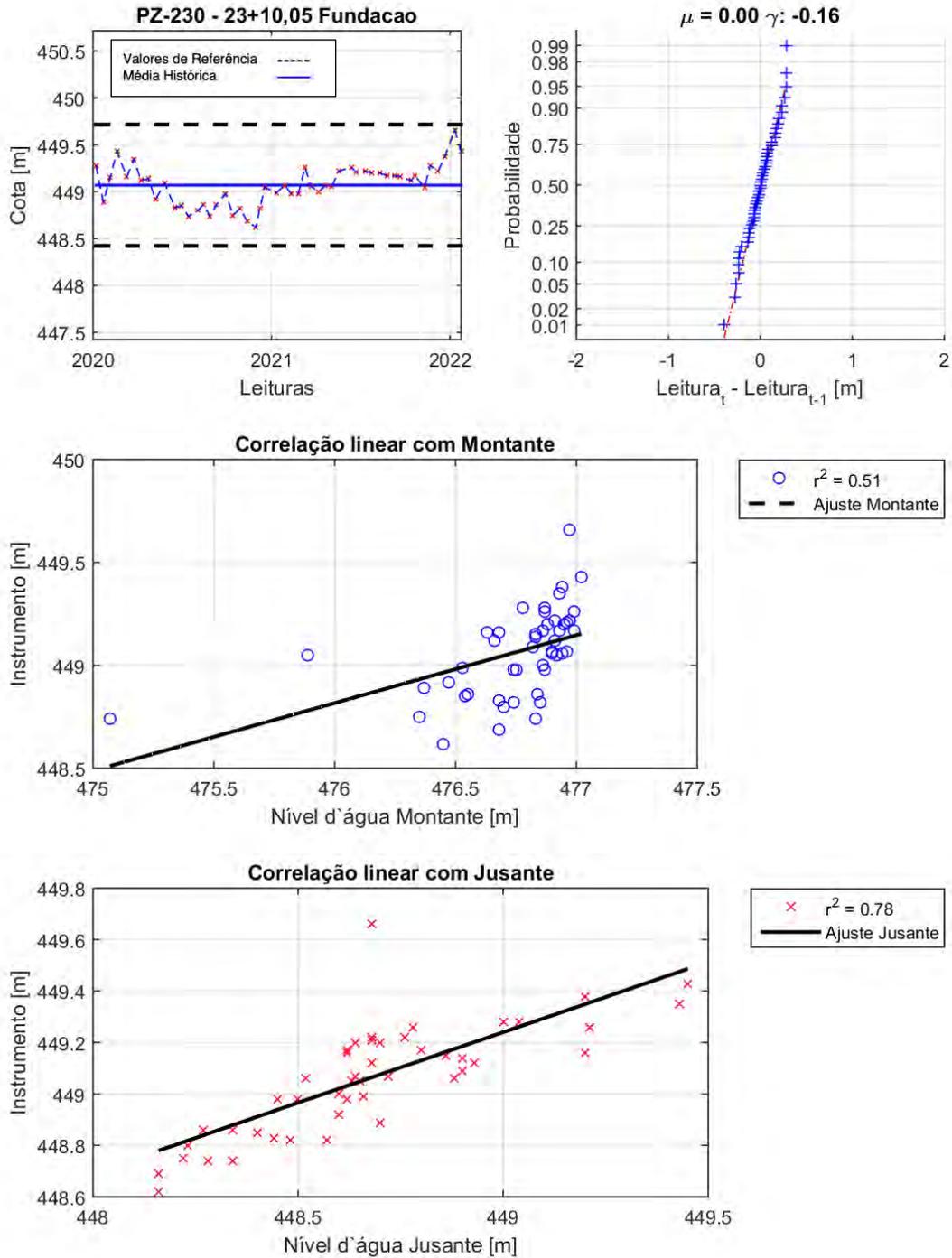


GRÁFICO 107. PZ 230 - 23 + 10,05 FUNDAÇÃO.

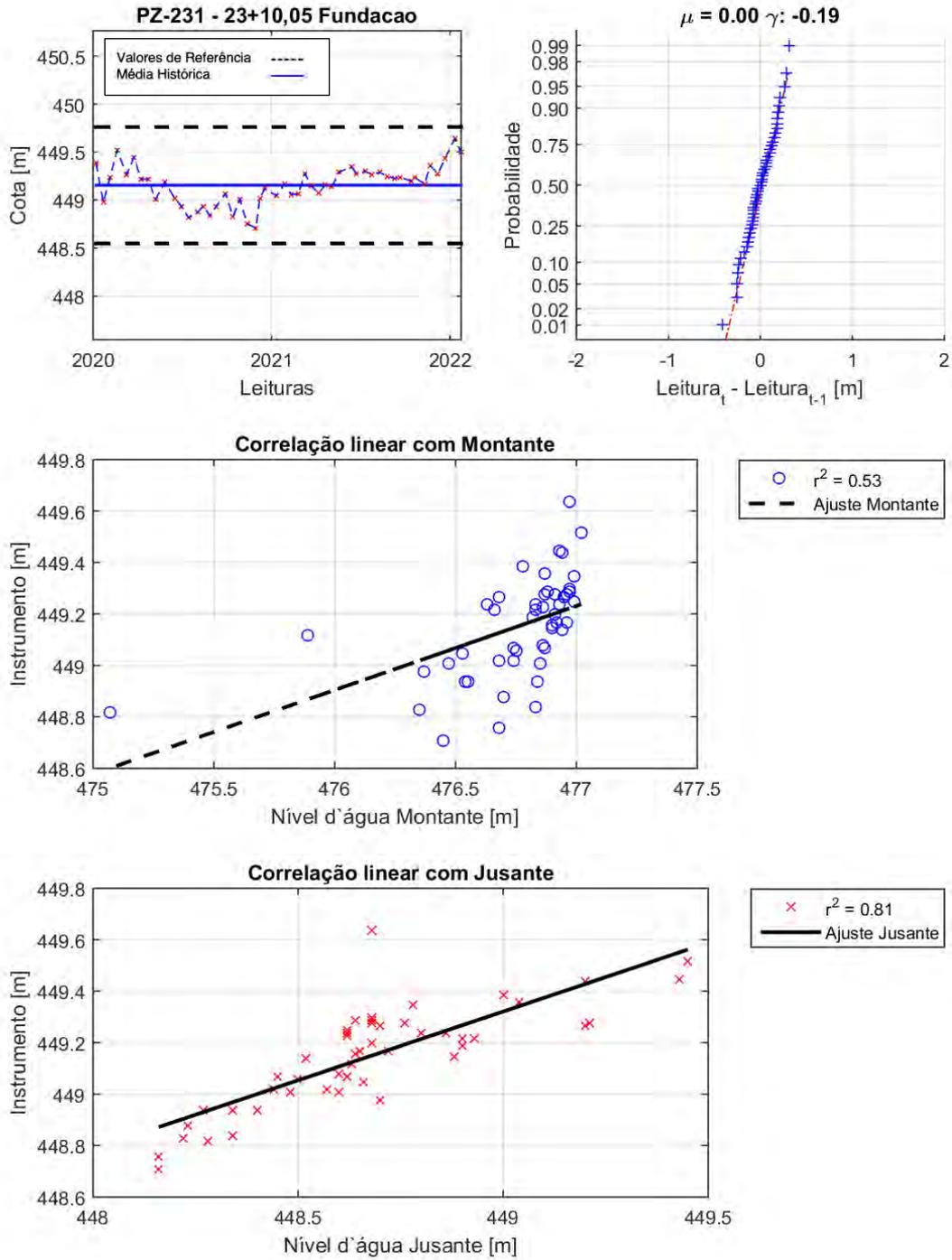


GRÁFICO 108. PZ 231 - 23 + 10,05 FUNDAÇÃO.

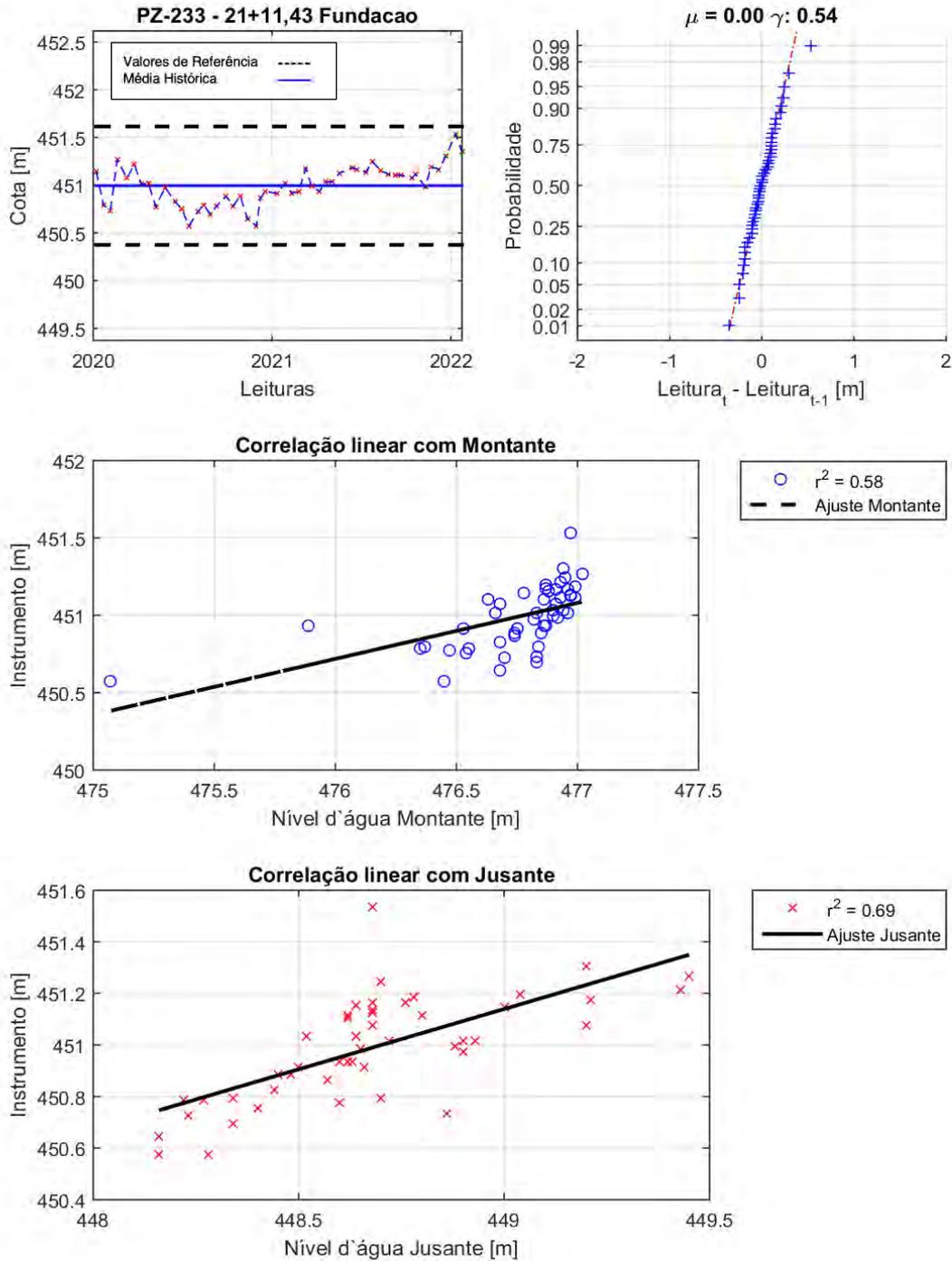


GRÁFICO 109. PZ 233 - 21 + 11,43 FUNDAÇÃO.

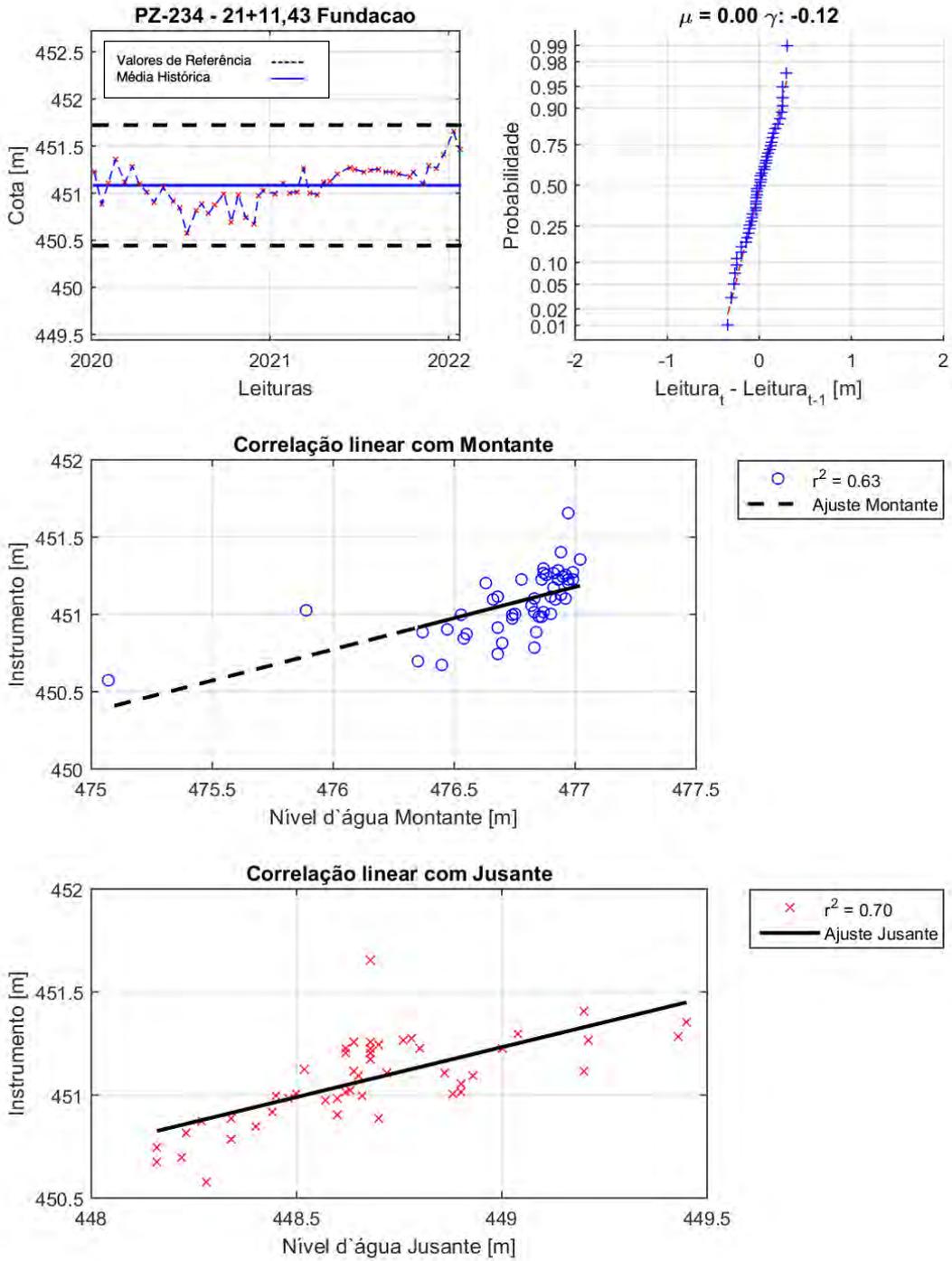


GRÁFICO 110. PZ 234 - 21 + 11,43 FUNDAÇÃO.

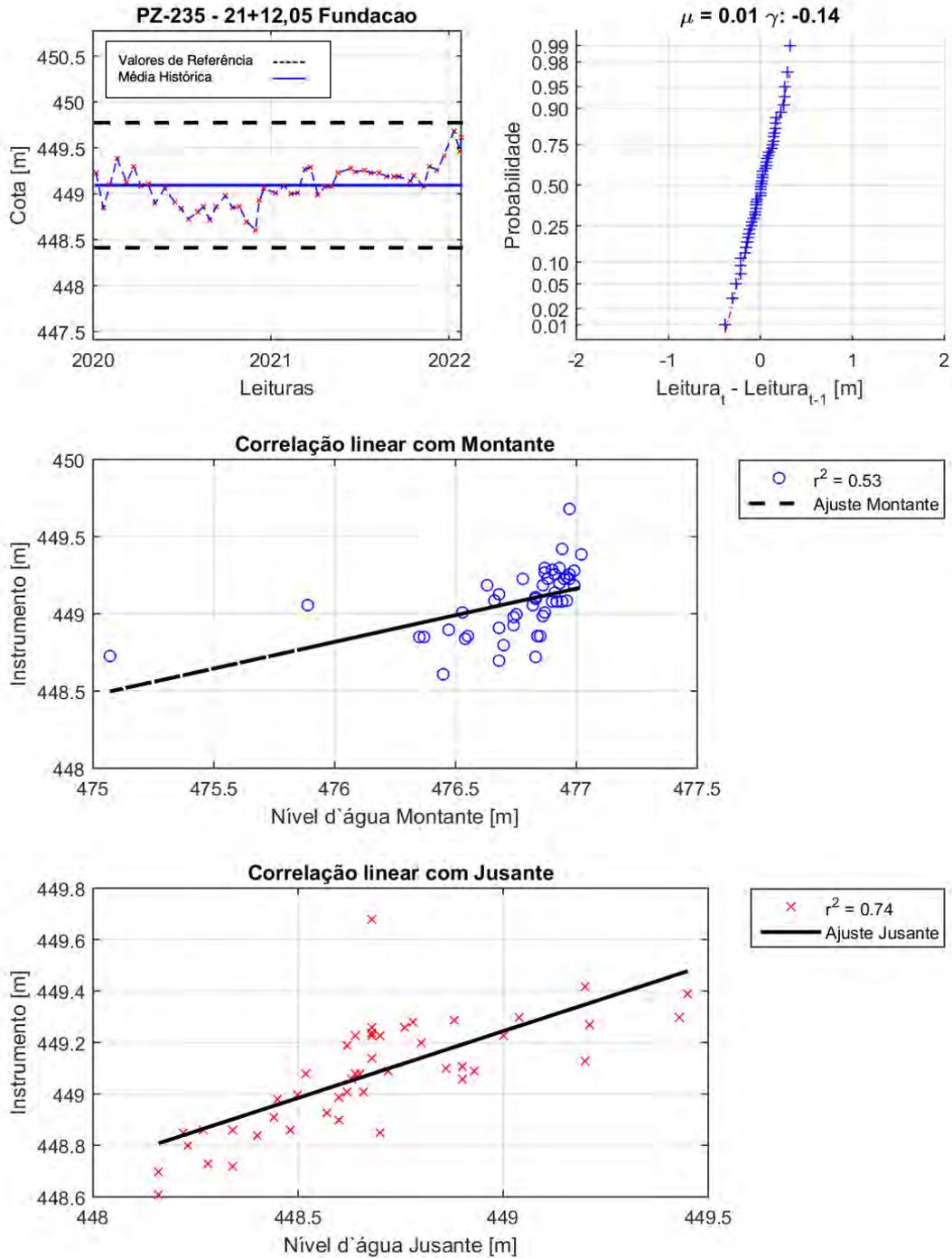


GRÁFICO 111. PZ 235 - 21 + 12,05 FUNDAÇÃO.

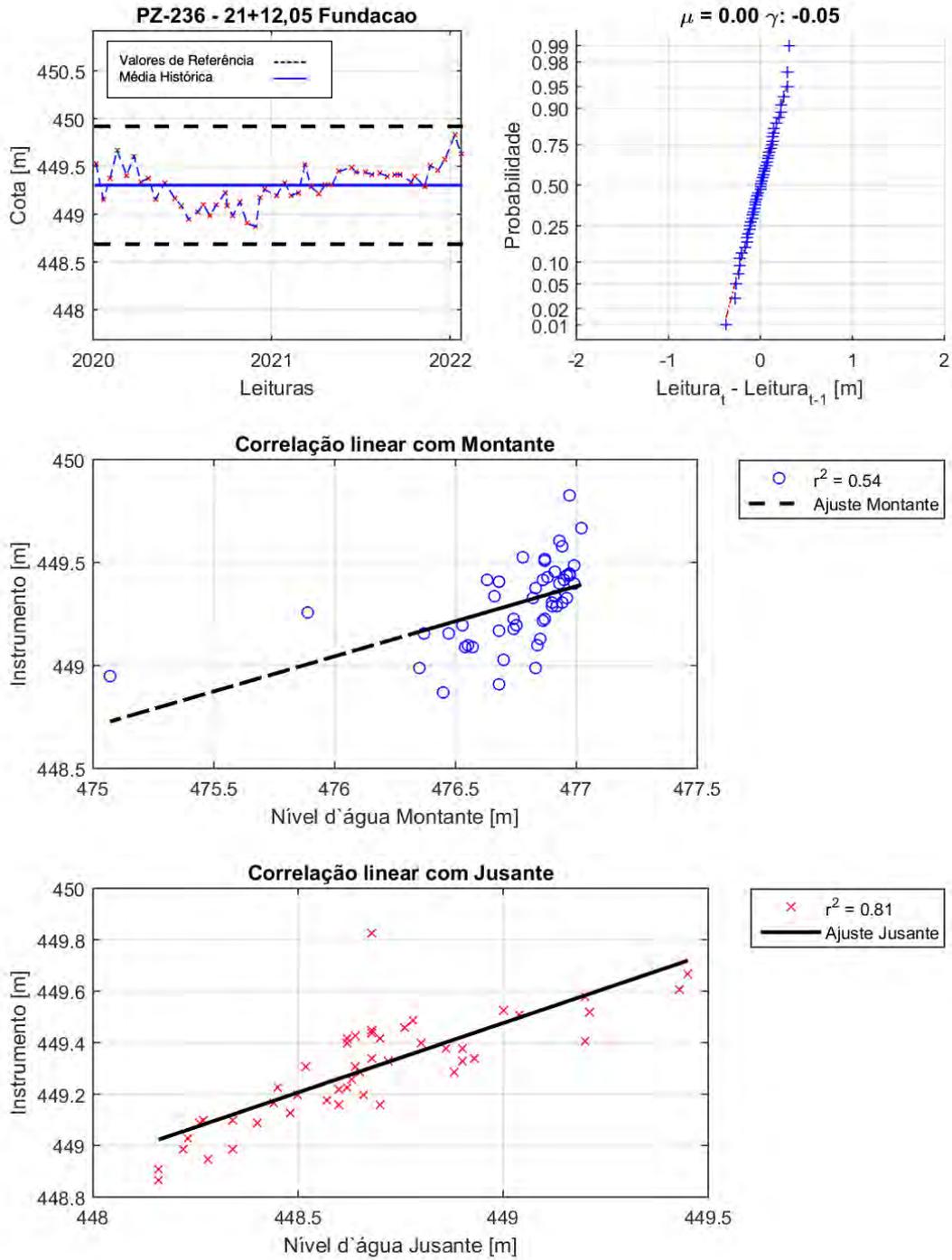


GRÁFICO 112. PZ 236 - 21 + 12,05 FUNDAÇÃO.

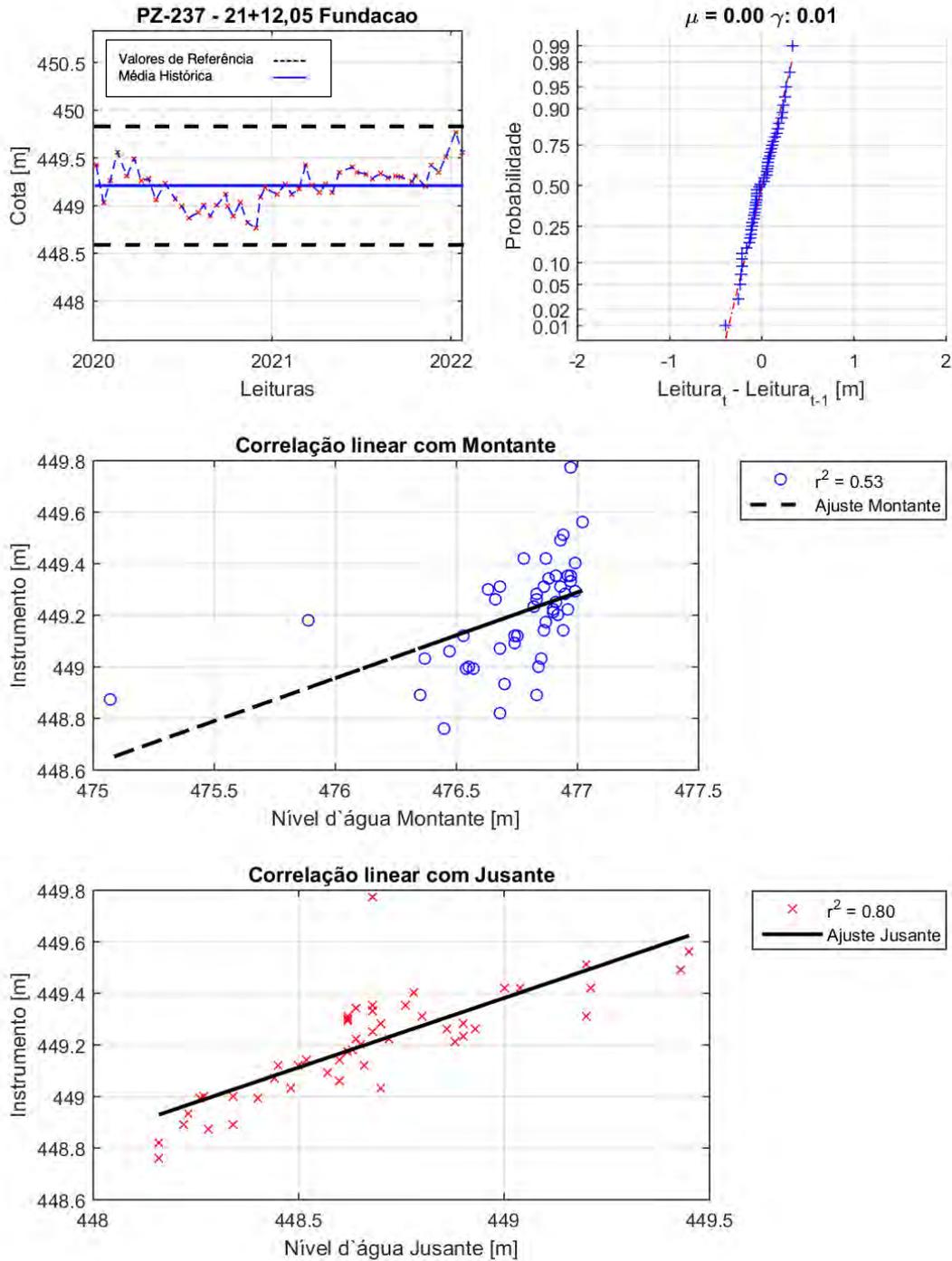


GRÁFICO 113. PZ 237 - 21 + 12,05 FUNDAÇÃO.

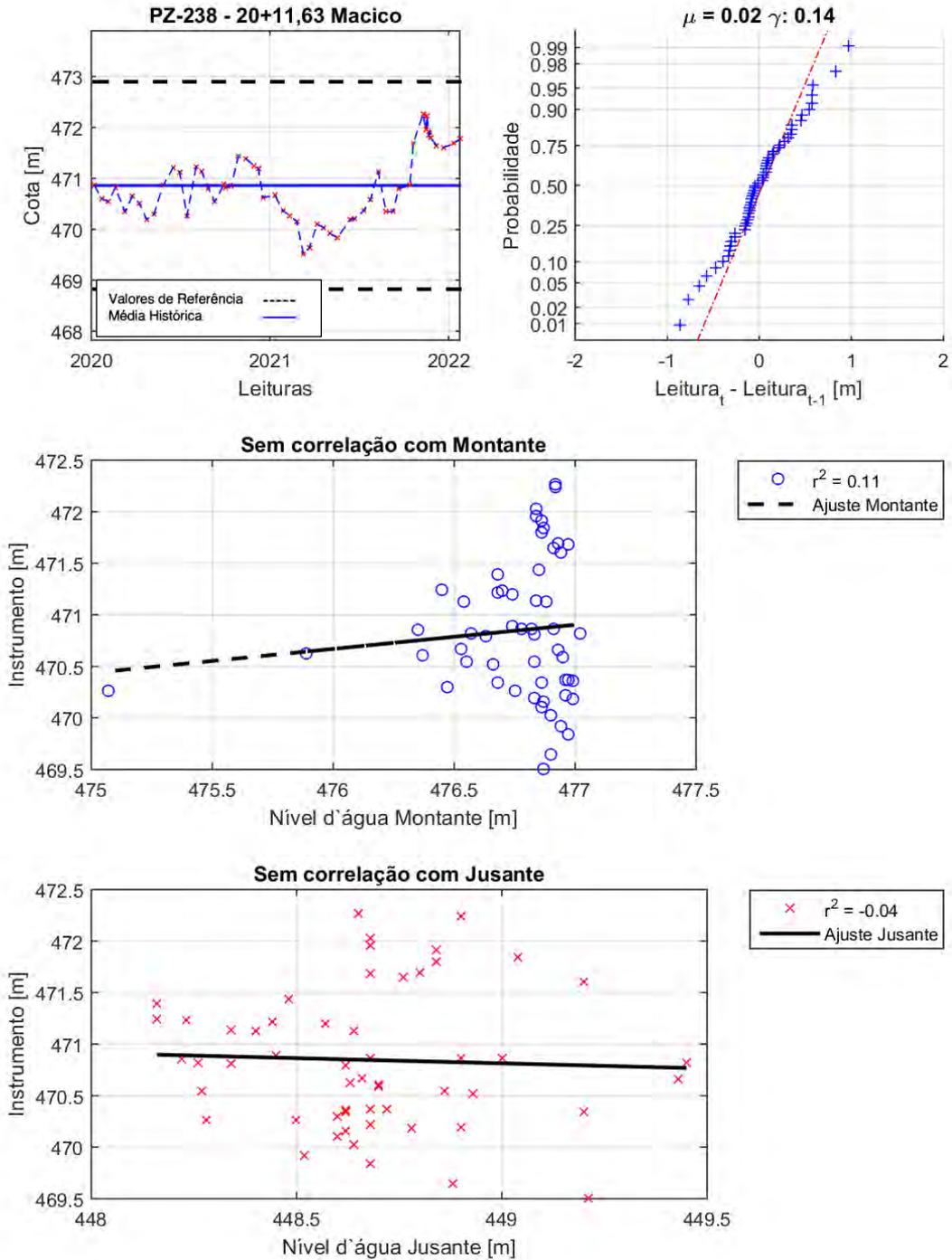


GRÁFICO 114. PZ 238 - 20 + 11,63 MACIÇO.

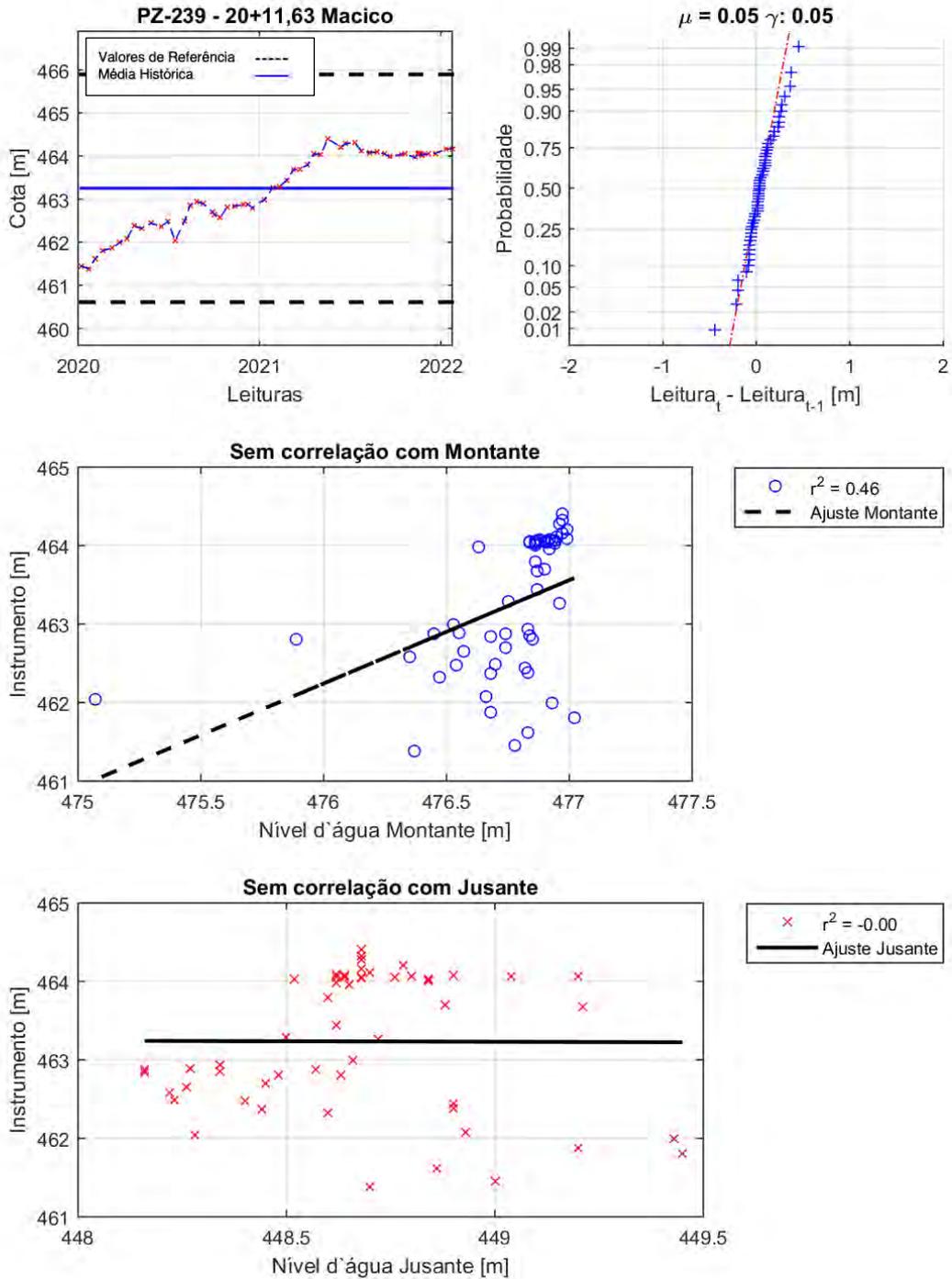


GRÁFICO 115. PZ 239 - 20 + 11,63 MACIÇO.

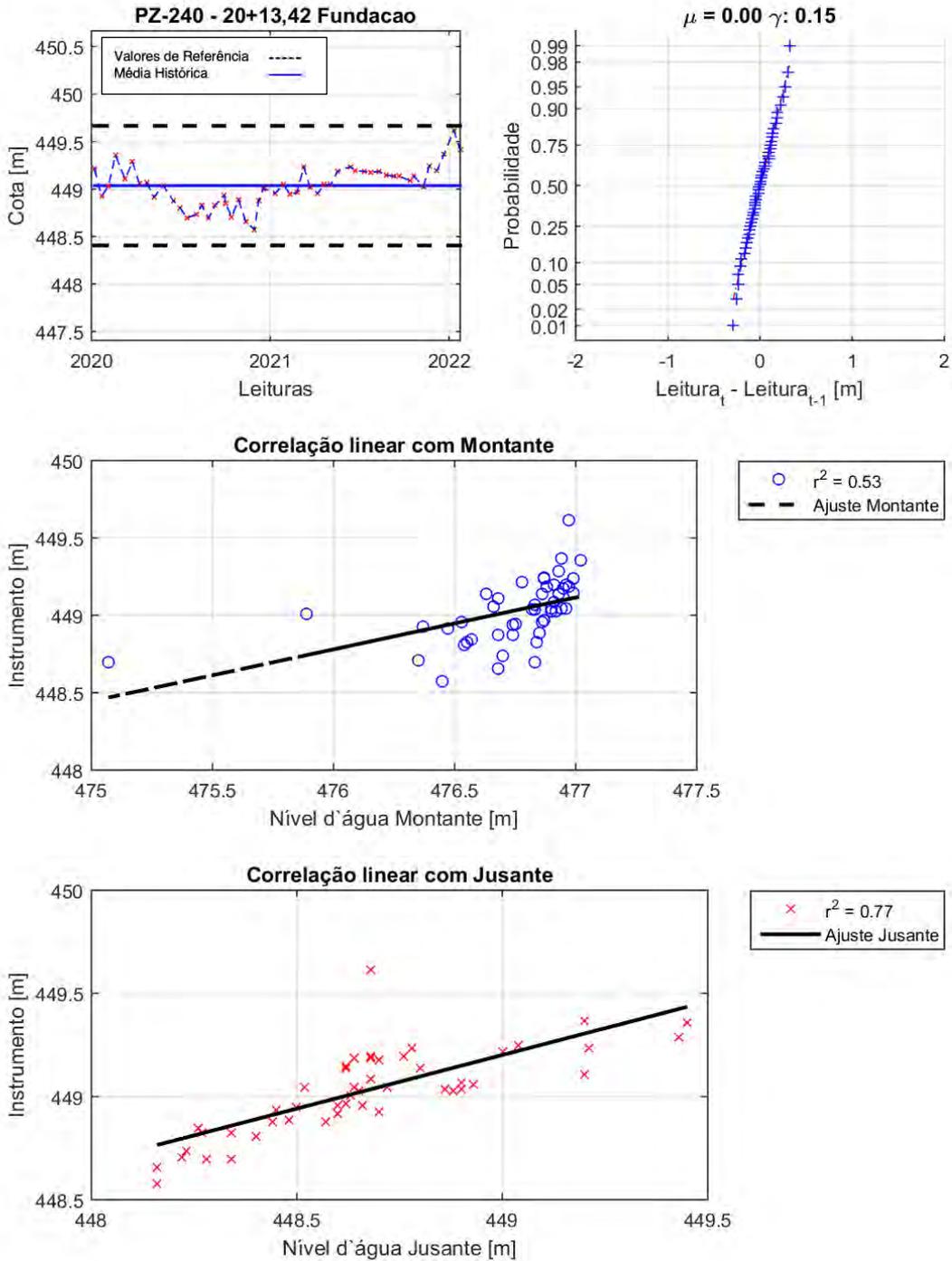


GRÁFICO 116. PZ 240 - 20 + 13,42 FUNDAÇÃO.

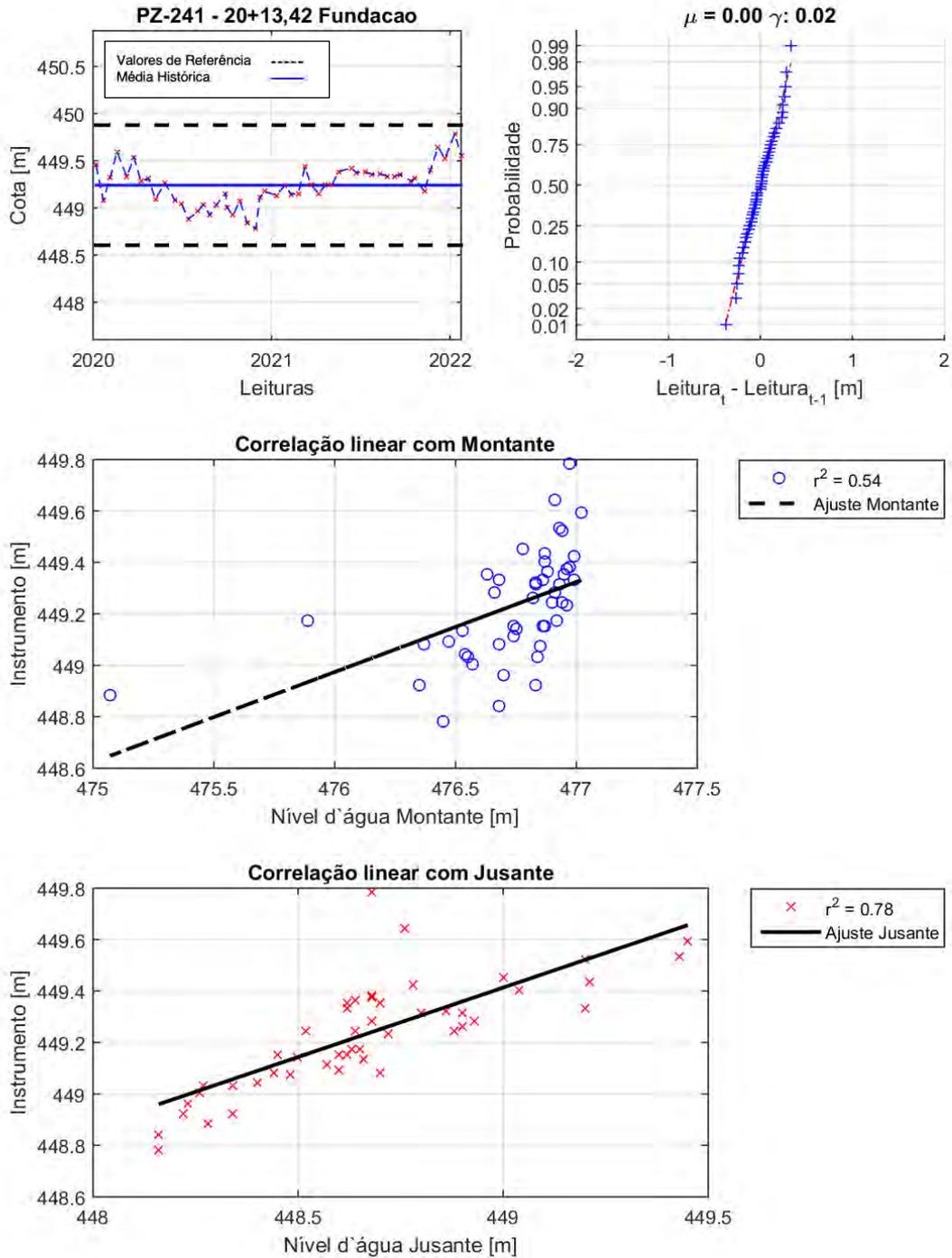


GRÁFICO 117. PZ 241 - 20 + 13,42 FUNDAÇÃO.

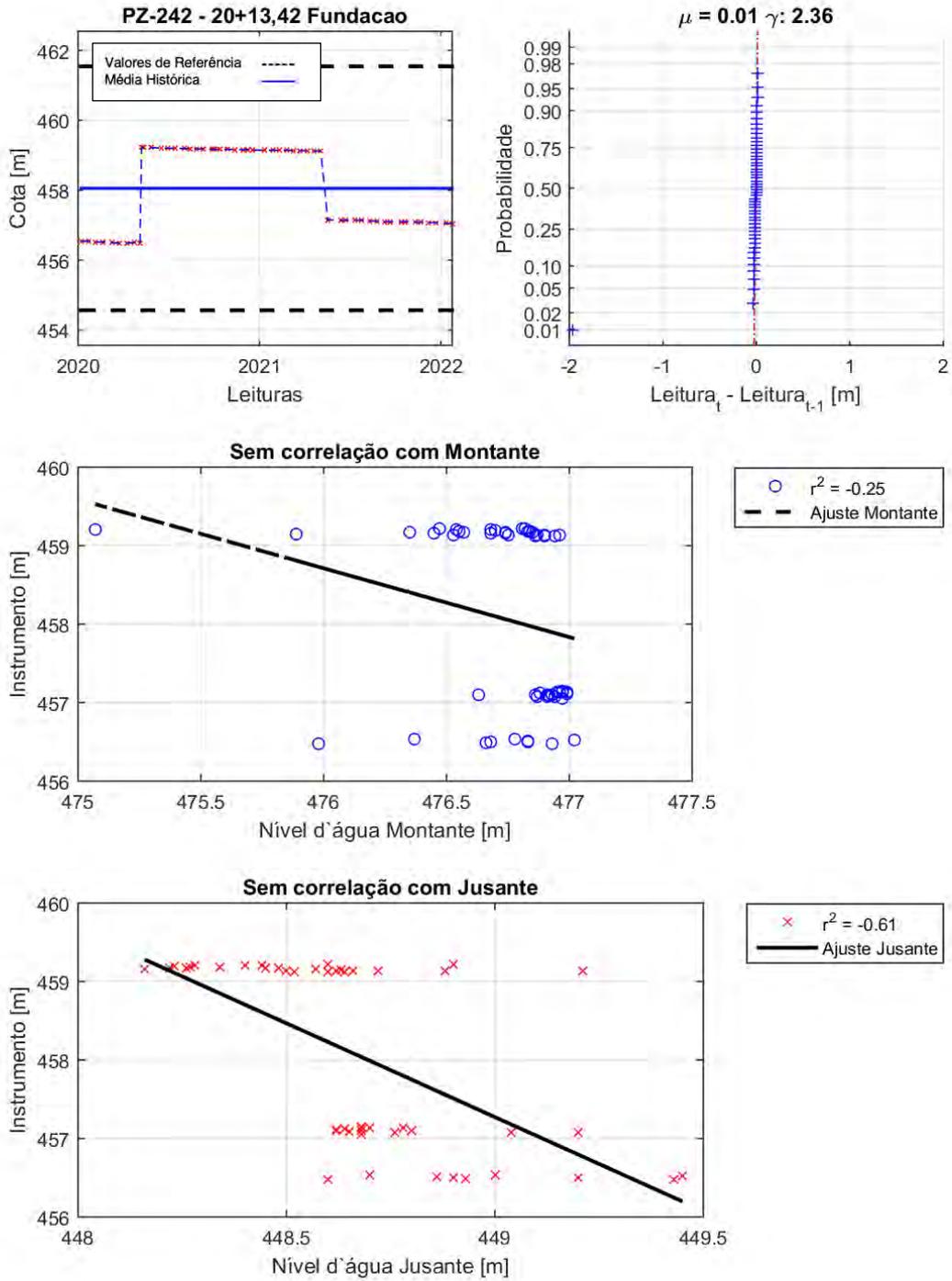


GRÁFICO 118. PZ 242 - 20 + 13,42 FUNDAÇÃO.

APRESENTAÇÃO

Este documento faz referência à atualização do estudo de estabilidade das estruturas civis da UHE Caçu, apresentado no documento 600-CAC-RT-RES-REV_0. Nesta etapa, serão abordadas as análises referentes às estruturas de terra e enrocamento do empreendimento, adotando os parâmetros de resistência e de permeabilidade obtidos em ensaios de laboratório.

Os ensaios foram elaborados em conjunto com o programa de investigações geotécnicas na região do maciço da barragem. Foram escavados poços de inspeção no talude de jusante dos dois trechos de barragem de terra das margens direita (BTMD) e esquerda (BTME), com coleta de oito amostras indeformadas de solo e execução de ensaios de laboratório, incluindo ensaios triaxiais. Os resultados desses ensaios foram apresentados em relatório emitido pela DIEFRA (cód. 1250-20).

As análises foram realizadas utilizando parâmetros dos ensaios de laboratório realizados para a região do maciço da barragem. Além disso, foram realizadas calibrações com base nos dados históricos dos instrumentos instalados nas seções indicadas.

Dispondo das novas informações, a Fractal Engenharia e Sistemas atualizou as análises de estabilidade para as mesmas seções da barragem de terra e de enrocamento da UHE Caçu avaliadas no relatório de agosto de 2020. O presente documento apresenta esse trabalho.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ESTRUTURAS DE TERRA	4
2.1	METODOLOGIA DE CÁLCULO	4
2.2	PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DOS MATERIAIS	6
2.2.1	Ensaios de Laboratório – Material do Maciço	6
2.2.2	Parâmetros de Projeto	10
2.2.3	Parâmetros Utilizados nos Estudos	11
2.3	SEÇÕES ANALISADAS	12
2.4	CENÁRIOS ANALISADOS	15
3	RESULTADOS	16
3.1	BARRAGEM DE TERRA DA MARGEM DIREITA (BTMD)	16
3.1.1	Estaca 5+0,0 m	16
3.1.2	Estaca 7+0,0 m	22
3.1.3	Estaca 8+4,0 m	28
3.2	BARRAGEM DE TERRA DA MARGEM ESQUERDA (BTME)	34
3.2.1	Estaca 20+12,0 m	34
3.2.2	Estaca 21+12,0 m	40
3.2.3	Estaca 23 +10,0 m	46
3.2.4	Estaca 25+0,0 m	51
3.2.5	Estaca 30+0,0 m	57
3.2.6	Estaca 33+10,0 m	63
3.2.7	Estaca 36+16,0 m	69
3.2.8	Estaca 41+6,0 m	76
3.2.9	Estaca 46+5,0 m	81
3.3	SÍNTESE DOS RESULTADOS	87
4	CONCLUSÃO	89
5	RECOMENDAÇÕES	90
6	DOCUMENTOS UTILIZADOS	92
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICE	94
	ANEXOS	131

1 INTRODUÇÃO

No presente documento estão apresentados os novos estudos de estabilidade realizados pela Fractal Engenharia e Sistemas para os dois trechos de barragem de terra e de enrocamento da UHE Caçu.

Este estudo levou em consideração as normas brasileiras vigentes, bem como os Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas (Eletrobrás, 2003). A fim de auxiliar nos cálculos foram utilizados softwares específicos e planilhas eletrônicas.

2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ESTRUTURAS DE TERRA

2.1 METODOLOGIA DE CÁLCULO

As análises de estabilidade das estruturas de terra e enrocamento da UHE Caçu foram realizadas com base no método proposto por Bishop simplificado, GLE (Morgenstern & Price), Jambu e Spencer.

O método de Bishop calcula o fator de segurança (FS) através das análises de equilíbrio limite utilizando-se da divisão da superfície de ruptura em fatias (Figura 1). Para cada fatia são realizados os cálculos de somatório de momentos, e o fator de segurança para a superfície em questão é obtido através da relação entre o somatório dos momentos resistentes (em função dos parâmetros de resistência do solo – coesão e ângulo de atrito) e atuantes (em função dos pesos de solo e da água e demais esforços atuantes).

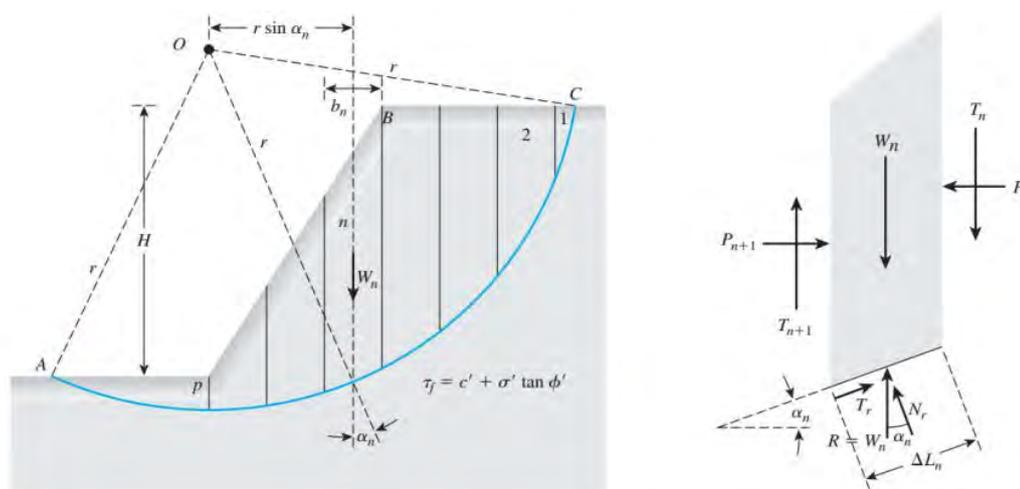


Figura 1. Ilustração da superfície de ruptura e dos esforços atuantes nas fatias.

Fonte: Das (2011).

$$FS = \frac{\sum \text{Momentos Resistentes}}{\sum \text{Momentos Atuantes}} \quad \text{Equação 1}$$

Os momentos resistentes são dependentes das características geotécnicas dos materiais componentes da barragem. A resistência característica do solo baseia-se na equação de Mohr-Coulomb, que associa as características geotécnicas de coesão (c') e ângulo de atrito interno (φ') aos esforços de cisalhamento (τ) e normal (σ') atuantes em um determinado plano através da seguinte equação:

$$\tau = c' + \sigma' \cdot \text{tg} \varphi' \quad \text{Equação 2}$$

onde: τ corresponde à tensão cisalhante no plano analisado [kPa]; c corresponde à coesão do solo [kPa]; σ' é equivalente à tensão normal efetiva do solo [kPa]; e φ' corresponde ao ângulo de atrito efetivo do solo.

Com base no descrito, a equação do FS pode ser reescrita como:

$$FS = \frac{\sum [c' \cdot l + (W \cdot \cos \alpha - U) \cdot \text{tg} \varphi']}{\sum (W \cdot \sin \alpha)} \quad \text{Equação 3}$$

onde: l corresponde à largura da fatia analisada; α corresponde à inclinação do plano da fatia; U corresponde à poropressão atuante; e W corresponde ao peso do solo, calculado em função do peso específico de cada camada que compõe a fatia.

Os cálculos de estabilidade da UHE Caçu, utilizando o método proposto por Bishop, foram realizados no software *Slide v.6* da Roc Science, modelo amplamente utilizado em análises geotécnicas de estabilidade global e de redes de fluxo. O modelo realiza o cálculo dos fatores de segurança para um grande número de superfícies e permite avaliar os resultados em termos da superfície crítica da seção – com o FS mínimo global.

Os FS da superfície crítica são comparados aos valores de referência apresentados na Tabela 1. A aceitação de estabilidade da seção de interesse somente é assentida se o fator de segurança mínimo global for igual ou superior aos limites apresentados.

Tabela 1 – Coeficientes de Segurança para as estruturas de terra e enrocamento.

Caso	Coeficiente de Segurança	Observações
Rebaixamento Rápido	1,1 a 1,30	Valor mínimo para solos dilatantes e Valor máximo para solos que contraem no cisalhamento
Percolação Estável ¹	1,50	Talude Jusante – Barragem de Terra Talude Jusante cruzando o núcleo – Barragem de Enrocamento

¹ Para superfícies de ruptura em taludes de solo coesivo, sujeitos a subpressão.

Caso	Coefficiente de Segurança	Observações
Percolação Estável ²	1,30	Talude Jusante face – Barragem de Enrocamento
Análise Sísmica	1,10	Taludes Montante e Jusante

Fonte: Eletrobrás, 2003.

2.2 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DOS MATERIAIS

2.2.1 Ensaios de Laboratório – Material do Maciço

De acordo com o apresentado no “Relatório de Ensaios Geotécnicos da Barragem de Terra”, produzido pela DIEFRA (cód. 1250-20), foram extraídas 08 amostras indeformadas do material do maciço de diferentes seções da barragem de terra da UHE Caçu. Estas amostras foram submetidas a ensaios triaxiais do tipo adensado não drenado, com medida da poropressão, e ensaios de caracterização geotécnica. A Tabela 2 apresenta os parâmetros geotécnicos obtidos para cada amostra indeformada segundo os estudos citados. O Anexo 1 apresenta o relatório da DIEFRA, disponibilizado pela Kinross. No referido relatório não é apresentada uma planta com a localização dos pontos amostrados, sendo identificado conforme tabela abaixo, através da estaca coletada e o nome do ponto.

Tabela 2. Parâmetros dos ensaios geotécnicos amostras da UHE Caçu.

Registro	Furo	Estaca	Peso Esp. [kN/m ³]	Permeabilidade [cm/s]	Tensões Totais c [kPa]	Tensões Totais φ [°]	Tensões Efetivas c' [kPa]	Tensões Efetivas φ' [°]
13792	PI-01	5+10	19,50	-	38	24	22	27
13796	PI-01'	5+10	19,14	-	25	15	22	17
13793	PI-02	7	19,10	2,60E-05	41	9	26	17
13791	PI-02'	7	19,80	1,70E-05	20	16	4	21
13798	PI-03	36	19,50	2,83E-05	41	11	14	23
13795	PI-03'	36	-	4,68E-05	23	15	11	25
13794	PI-04	36	18,50	5,26E-05	25	4	10	21
13797	PI-04'	36	19,20	7,28E-05	45	12	50	14

De acordo os ensaios de caracterização geotécnica, todas as amostras foram enquadradas como argilas silto-arenosas. Os parâmetros de peso específico e de permeabilidade das amostras apresentaram pouca variação, sendo o primeiro muito próximo ao valor adotado na etapa de projeto da UHE Caçu (19,5 kN/m³). No entanto, foi observada grande variabilidade dos resultados em termos de envoltórias de resistência, com amostras apresentando comportamento quase granular com coesão de 4 kPa, e outras indicando comportamentos típicos de solos argilosos, com coesão de até 50 kPa.

A variabilidade observada em relação aos parâmetros de resistência pode ter ocorrido devido a problemas de compactação do solo durante a execução das diferentes camadas do

² Para superfícies de ruptura em taludes de material não coesivo de alta permeabilidade, como enrocamento.

aterro, diferenças nos materiais das jazidas das margens esquerda e direita, variações do material na mesma jazida – onde o perfil do subsolo pode ter camadas inferiores e superiores diferentes - e, ainda, falta de controle de qualidade do material utilizado no talude de jusante.

Assim, os parâmetros utilizados nas análises de estabilidade consideram incertezas quanto à variabilidade destes e limitações dos procedimentos de ensaios. Desta forma, os parâmetros foram reavaliados considerando as variações granulométricas, características geotécnicas e geomecânicas, em função das descrições geológicas, utilizando os valores mais conservadores e coerentes obtidos nos resultados dos ensaios (relatório da DIEFRA) e simulações de softwares de laboratório (rocdat) para a fundação rochosa.

As análises foram elaboradas com base na metodologia apresentada no Anexo D da NBR 11682 e seguem apresentadas no subitem a seguir.

Algumas análises apresentaram uma dispersão considerável, o que levou a uma avaliação mais técnica, conforme descrito acima, resultando em valores ligeiramente diferentes dos parâmetros utilizados anteriormente.

2.2.1.1 Análise Estatística dos Parâmetros de Resistência do Maciço

Segundo o especificado na NBR 11682, os parâmetros de resistência do solo podem ser estimados por regressão linear, correlacionando a resistência ao cisalhamento (τ) com as tensões normais (σ'). O procedimento estatístico proposto leva em conta as incertezas da resistência ao cisalhamento ao longo de uma superfície potencial de ruptura e as incertezas decorrentes do reduzido número de amostras coletas em campo.

Para a aplicação do método citado, os resultados dos ensaios de cada corpo de prova são representados por pontos no espaço “ $p' \times q$ ”. Neste sistema, a envoltória de resistência é definida pela equação:

$$q = a' + p' \cdot tg\psi \quad \text{Equação 4}$$

onde: p e q são obtidos através das relações de σ_1 e σ_3 que representam, respectivamente, a pressão axial de ruptura e a pressão confinante do ensaio; e a e ψ são equivalentes às constantes de coesão e ângulo de atrito no espaço citado.

Após a plotagem dos pontos, obtém-se as envoltórias médias de resistência e os limites de confiança do estudo, através da equação:

$$q_{limite} = q_{média} \pm \Delta q \quad \text{Equação 5}$$

$$\Delta q = t(N - 2) \cdot s[a] \quad \text{Equação 6}$$

onde: $t(N-2)$ corresponde ao coeficiente estatístico t de Student para α equivalente a 0,05; N correspondente ao número de amostras – já considerando os pontos expurgados [em que $N > 10$ amostras]; e $s[a]$ corresponde ao desvio padrão do parâmetro a .

Os resultados dos ensaios realizados no material do maciço da UHE Caçu foram plotados no espaço “p’ x q” e a Figura 2 ilustra os pontos citados. Na figura, a linha tracejada preta é referente à envoltória média de resistência e as linhas tracejadas vermelhas fazem referência aos limites de confiança, a partir das quais os pontos são considerados outliers.

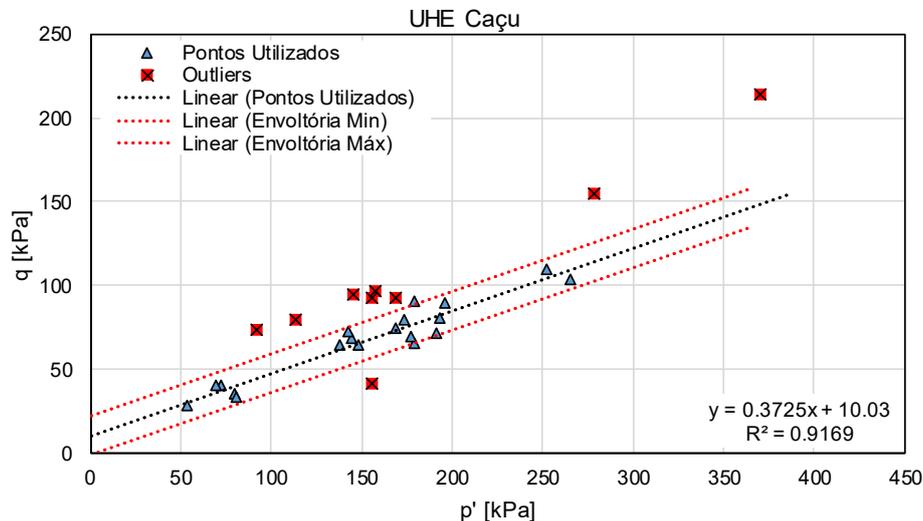


Figura 2. Resultados dos ensaios triaxiais da UHE Caçu plotados no espaço “p’ x q”.

No total, foram utilizados os resultados relacionados à 28 corpos de prova, dos quais 9 foram considerados outliers. Os resultados numéricos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Coeficientes utilizados nas análises de parametrização geotécnica segundo a NBR 11682.

Parâmetro	Valor
tg ψ [médio]	0,37
a [médio]	10,03
N	19
t (N-2)	2,11
s [a]	5,59

Os parâmetros de coesão e ângulo de atrito interno foram obtidos através de correlação dos coeficientes da envoltória média no espaço “p’ x q” e no espaço “τ x σ”.

$$tg\phi' = \frac{tg\psi}{\sqrt{1 - tg^2\psi}} \quad \text{Equação 7}$$

$$c' = \frac{a}{\sqrt{1 - tg^2\psi}} \quad \text{Equação 8}$$

A Tabela 4 apresenta os parâmetros de resistência obtidos com base na metodologia da NBR 11682 para os materiais do maciço da UHE Caçu.

Tabela 4. Parâmetros de resistência obtidos com base nas recomendações NBR 11682 para a UHE Caçu.

Parâmetro	Valor
φ'	25,2°
c'	10,8 kPa

Os coeficientes apresentados correspondem à envoltória média obtida. No entanto, como pode ser observado na Figura 2, a envoltória média (linha tracejada preta) desconsidera alguns dos pontos pertencentes às amostras de maior resistência, por estarem fora do intervalo de confiança de 97,5%. Isto posto, fica claro que os valores calculados pelo método estatístico são mais conservadores do que a média comum dos ensaios, sem a exclusão dos outliers, corroborando, assim, com o uso dos parâmetros apresentados na Tabela 4 para os estudos de revisão de estabilidade da UHE Caçu.

A Figura 3 ilustra as envoltórias de resistência obtidas pela DIEFRA para cada uma das amostras indeformadas e a envoltória média obtida através das análises estatísticas realizadas pela Fractal.

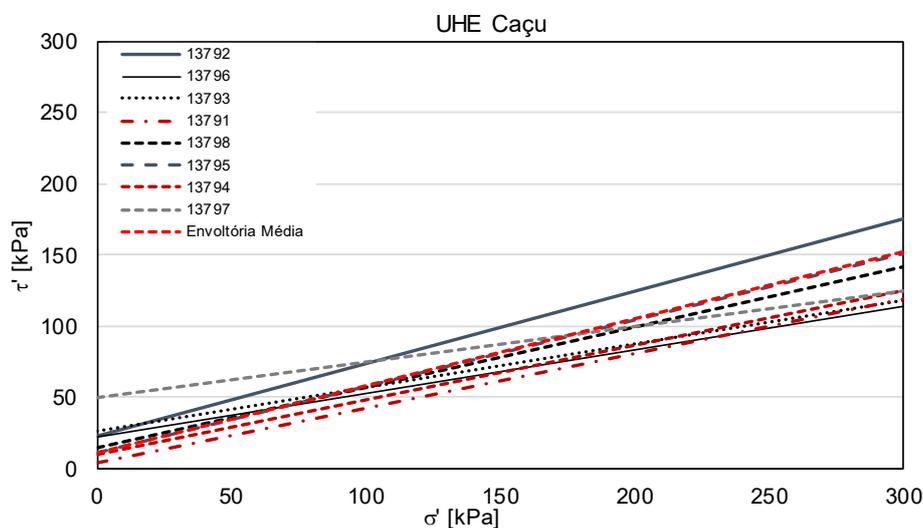


Figura 3. Envoltórias de resistência obtidas para o material do maciço da UHE Caçu.

Como pode ser observado na Figura 3, a envoltória de resistência média obtida para o material do aterro apresenta comportamento muito próximo ao da envoltória dos ensaios realizados com a amostra 13795. Ainda, pode ser observado que os ensaios de duas das amostras coletadas (13791 e 13794) resultaram em envoltórias de resistência mais críticas do que a média calculada.

Apesar das envoltórias críticas (13791 e 13794) serem mais conservadoras, o uso da envoltória média ainda é justificado, uma vez que esta foi obtida com base em pontos ($p' \times q$) de todos os ensaios realizados, inclusive das amostras 13791 e 13794. Ainda, sabe-se que a ruptura em solo envolve uma superfície de deslizamento em três dimensões. No maciço da barragem a superfície atravessa várias camadas, que pelo processo construtivo, podem ter variações de material, espessura, grau de compactação e, em consequência, dos parâmetros resistência ao cisalhamento. Ainda, variam na superfície de ruptura as tensões e deformações, havendo pontos onde só foi mobilizada parte da resistência ao cisalhamento, e

pontos onde as deformações passam do limite do pico de resistência e caem para o valor da resistência residual.

Em outras palavras, para cada superfície de ruptura possível, há pontos onde o fator de segurança chega a 1,0 (trincas de tração no topo), e pontos onde o fator de segurança é bem maior que o valor do FS calculado para toda a superfície de ruptura. Assim, os fatores de segurança variam ponto a ponto ao longo da superfície crítica. Desta forma, a adoção dos parâmetros de resistência das piores amostras não se mostra coerente, sendo razoável o uso dos parâmetros médios, como os adotados neste estudo.

Em suma, o uso das envoltórias 13791 e 13794 resultaria em valores conservadores de fatores de segurança, mas que não seriam representativos para a barragem da UHE Caçu, uma vez que representam a resistência ao cisalhamento de pontos isolados do maciço e não das superfícies de ruptura como um todo.

2.2.2 Parâmetros de Projeto

Para os demais materiais constituintes da barragem não foram encontrados resultados de ensaios de laboratório das amostras, que permitissem obter os parâmetros reais de resistência dos materiais. Assim, todas as informações disponíveis são provenientes dos ensaios disponíveis na fase de projeto e outros realizados mais recentemente.

Para a rocha basáltica amigdaloidal e o basalto, foram utilizados parâmetros baseados em Barton-Bandis. Os parâmetros das rochas foram definidos através da utilização das características geomecânicas da fundação e calculadas com o auxílio de um programa computacional.

Os parâmetros adotados na atualização do estudo de estabilidade foram reavaliados considerando as características geotécnicas dos materiais.

Os valores dos parâmetros são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros de projeto dos materiais constituintes das estruturas de Terra.

TIPO	MATERIAL	Parâmetros de Resistência						PERMEABILIDADE k (m/s)
		γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kPa)	JRC	JCS (kN/m ²)	ϕ_r (°)	
	Solo Coluvionar	15,2	27,5	8,5	-	-	-	2,0×10 ⁻⁶
	Solo Saprolítico	21,25	30,0	2,0	-	-	-	3,0×10 ⁻⁶
FUNDAÇÃO	Rocha Basáltica	20,00	-	-	2,0	175000	44,49	1,0×10 ⁻⁵
	Rocha de Basalto (BB, BVA, BD)	20,0	-	-	1,5	260000	44,49	1,0×10 ⁻⁷

TIPO	MATERIAL	Parâmetros de Resistência						PERMEABILIDADE k (m/s)
		γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kPa)	JRC	JCS (kN/m ²)	ϕ_r (°)	
MACIÇO	Filtro de Areia Fina (Af)	17,0	31,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻⁴
	Transição Ampla	17,0	33,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻⁴
	Transição Granular (TF) - pedrisco	17,0	35,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻³
	Transição Granular (TG) – brita 1	16,0	37,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻³
	Enrocamento	19,0	43,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻²
	Cascalho	18,0	33,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻²
	Brecha Basáltica	19,0	43,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻²

2.2.3 Parâmetros Utilizados nos Estudos

Com relação ao estudo anterior, foram alterados os parâmetros de coesão e ângulo de atrito do material do maciço, conforme o apresentado no item 2.2.1.1. O peso específico dos materiais foi mantido e a permeabilidade do maciço foi analisada conforme o resultado dos ensaios.

Para o aterro compactado, foram utilizados parâmetros da amostra 13798 obtidos no ensaio, de forma que esses valores, após calibração dos parâmetros e análise de fluxo, demonstraram um resultado satisfatório e condizente com o comportamento dos instrumentos instalados nas seções da barragem e com as características do material.

A Tabela 6 apresenta a comparação dos parâmetros geotécnicos adotados no estudo atual e no estudo anterior da UHE Caçu (600-CAC-RT-RES-REV_0).

Tabela 6. Comparação dos parâmetros geotécnicos do material do maciço da UHE Caçu para os estudos anteriores e atualizados.

Parâmetro	Valor Estudo Anterior	Valor Estudo Atual
ϕ'	25,2°	23°
c'	10,8 kPa	14 kPa
γ	19,50 kN/m ³	19,50 kN/m ³
k	4,06.10 ⁻⁷ m/s ou 1.10 ⁻⁸ m/s	1,36.10 ⁻⁶ m/s

A Tabela 7 apresenta os parâmetros geotécnicos de todos os materiais utilizados nos estudos de estabilidade das estruturas de terra e enrocamento da UHE Caçu.

Tabela 7. Parâmetros geotécnicos adotados nos modelos das estruturas de Terra e Enrocamento da UHE Caçu.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	JRC	JCS (kN/m ²)	Phir	KS (m/s)	K2/K1	K1 Angle
Basalto Vesículo Amigdaloidal		20	Barton-Bandis			1.5	260000	44.49	1e-007	100	90
Rocha Basáltica		20	Barton-Bandis			2	175000	44.49	1e-005	100	90
Aterro compactado		19.5	Mohr-Coulomb	14	23				1.36e-006	15	90
Areia		17	Mohr-Coulomb	2	31				0.0001	10	90
Transicao fina		17	Mohr-Coulomb	0	35				0.001	5	90
Transicao grossa		16	Mohr-Coulomb	0	37				0.001	15	90
Enrocamento		19	Mohr-Coulomb	0	43				0.01	5	90
Cascalho		18	Mohr-Coulomb	0	33				0.01	5	90
Transicao ampla		17	Mohr-Coulomb	0	33				0.0001	10	90
Brecha basaltica compactada		19	Mohr-Coulomb	0	43				0.01	5	90
Colúvio		15.2	Mohr-Coulomb	8.5	27.5				2e-006	15	90

2.3 SEÇÕES ANALISADAS

O barramento da UHE Caçu é composto por estruturas de terra, enrocamento e concreto. A Figura 4 destaca a imagem das estruturas que compõem o aproveitamento.



Figura 4. Vista geral do empreendimento.

Fonte: FOTOS AÉREAS, KINROSS BRASIL MINERAÇÃO S.A (2020).

Para as análises de estabilidade das estruturas de terra e enrocamento da UHE Caçu foram escolhidas 12 seções de referência. A escolha foi embasada nas condições geométricas das estruturas, bem como na existência de instrumentação.

A Tabela 8 apresenta as seções analisadas, bem como sua localização e os valores de FS obtidos nos estudos de estabilidade anteriores.

Tabela 8. Relação das seções analisadas e os FS obtidos nos estudos anteriores³.

Local	Estaca	FS – Jusante Operação		FS – Montante Operação		FS- Rebaixamento Rápido
		KATERRO		KATERRO		
		4,06.10 ⁻⁷ m/s	1.10 ⁻⁸ m/s	4,06.10 ⁻⁷ m/s	1.10 ⁻⁸ m/s	
BTMD	5+0,0 m	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
	7+0,0 m	1,7	1,7	2,0	2,0	2,0
	8+4,0 m	1,5	1,5	1,9	1,9	1,9
BTME	20+12,0 m	1,6	1,6	1,9	1,9	1,9
	21+12,0 m	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8
	23+10,0 m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	25+0,0 m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	30+0,0 m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	33+10,0 m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	36+16,0 m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	41+6,0 m	1,5	1,5	2,1	2,1	2,1
46+5,0 m	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	

Nas Figura 5, Figura 6 e Figura 7 estão indicadas as posições dessas seções em planta.

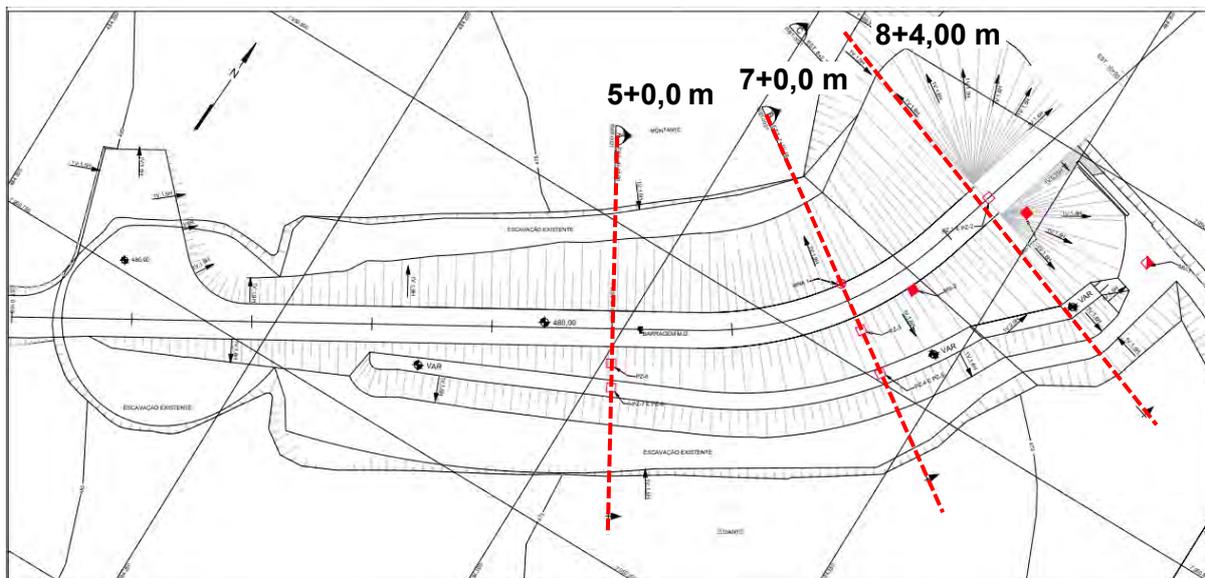


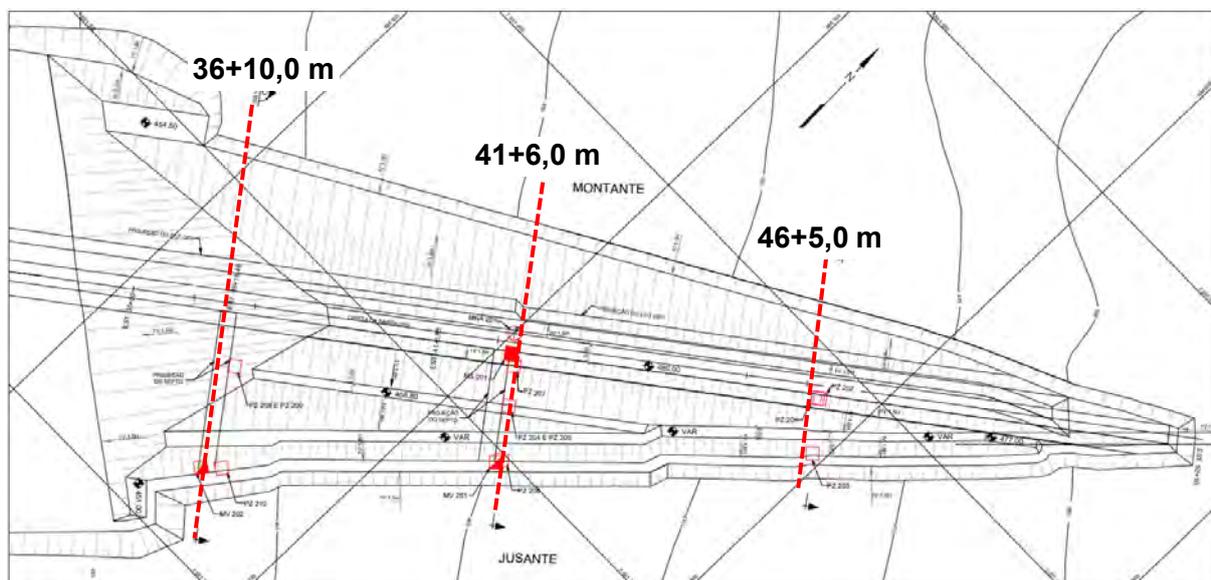
Figura 5. Seções utilizadas nas análises (BTMD).

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu– Barragem de Terra – Margem Direita – Instrumentação - Plantas (600-CAC-DES-ISBT-0020).

³ Fatores de segurança apresentados no relatório 600-CAC-RT-RES-REV_0.

**Figura 6. Seções utilizadas nas análises (BTME).**

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Marcos Fixos – Planta de Localização (600-CAC-DES-ISBT-0040).

**Figura 7. Seções utilizadas nas análises (BTME).**

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação - Planta (600-CAC-DES-ISBT-0001).

2.4 CENÁRIOS ANALISADOS

As análises de estabilidade das estruturas de terra e enrocamento da UHE Caçu foram realizadas com base no comportamento das seções de referência em três condições de carregamento/fluxo distintas:

- Para o talude montante foram consideradas as situações de reservatório em operação normal e de rebaixamento rápido;
- Para o talude de jusante foi considerada a situação de reservatório em operação normal; e
- Para os taludes de montante e jusante, foram realizadas análises sísmicas, considerando a ocorrência de sismos com aceleração horizontal igual a 0,10g e aceleração vertical igual a 0,06g.

As simulações foram realizadas considerando o nível d'água de montante na El. 477,0 m-IBGE e o nível d'água de jusante na El. 449,0 m-IBGE. Para o cenário de rebaixamento rápido foi considerado o rebaixamento até a El. 464,55 m-IBGE, correspondente à crista do vertedouro da UHE Caçu.

Cada cenário foi avaliado sob a condição de fluxo estabilizado no maciço. Para as seções nas quais há um Medidor de Nível D'Água instalado, foram considerados os níveis de água medidos pelo instrumento. Para as seções nas quais há apenas Piezômetros instalados, foi considerada a poropressão medida no ponto e associada para aquele material, com o cálculo do parâmetro de poro pressão para a profundidade de instalação do instrumento.

Essas condições foram as consideradas para o estudo por serem mais representativas, por corresponderem à situação de campo.

Os resultados das simulações utilizando o desenho do fluxo baseado na instrumentação de cada seção, ou seja, com a freática correspondendo aos valores medidos pelos instrumentos de monitoramento da UHE Caçu, são mais representativos para o estudo, por corresponderem a situação de campo.

Além disso, foram utilizados os parâmetros de permeabilidade dos materiais para realizar a análise do fluxo de água através da fundação e do maciço da barragem.

Ressalta-se que os parâmetros de permeabilidade e de resistência dos demais materiais que compõe a barragem foram reavaliados neste estudo e estão de acordo com o apresentado no item 2.2.2 deste documento.

3 RESULTADOS

Os itens a seguir apresentam os resultados dos estudos de estabilidade para cada uma das 12 seções de referência.

3.1 BARRAGEM DE TERRA DA MARGEM DIREITA (BTMD)

Na Barragem de Terra da Margem Direita (BTMD) foram realizadas análises em 3 (três) seções, sendo estas: Est. 5+0,0 m; Est. 7+0,0 m; e Est. 8+4,0 m.

As informações das análises para estas estacas estão apresentadas na sequência.

3.1.1 Estaca 5+0,0 m

A geometria da seção da estaca 5+0,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 8.

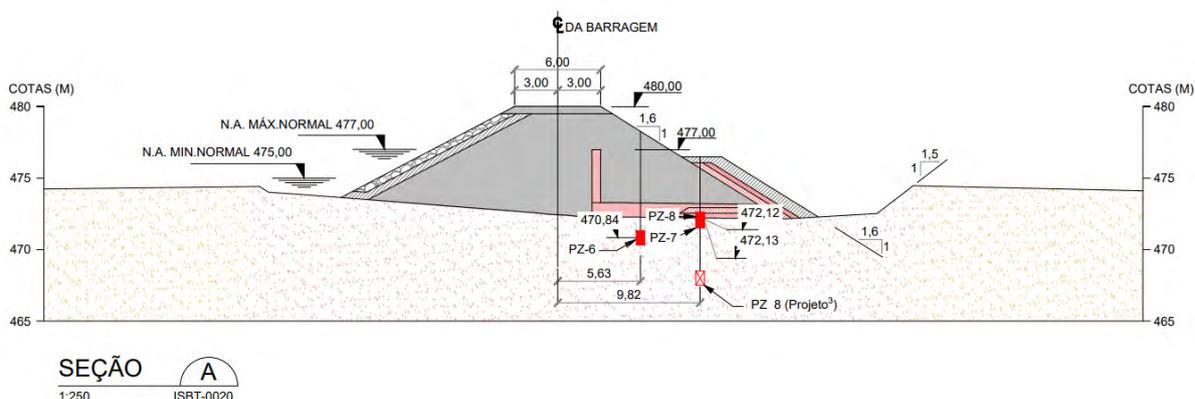


Figura 8. Seção da estaca 5 da BTMD.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Margem Direita – Instrumentação – Seções e Detalhe (600-CAC-DES-ISBT-0021).

Os instrumentos instalados na seção da Est. 5+0,0 m estão apresentados na Tabela 9, onde também constam os valores das leituras realizadas em abril e maio de 2021.

Tabela 9. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 5.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]	Cota de Leitura	Cota de Leitura
			[m-IBGE]	[m-IBGE]
			25/04/2022	10/05/2022
PZ – 06	470,84	479,54	473,99	473,95
PZ – 07*	472,13	477,20	473,90	473,87
PZ - 08	472,12	477,20	473,90	473,87

*Nota: O instrumento está danificado.

Segundo as leituras da última campanha de medições, os níveis piezométricos indicam que não há elevação da freática no espaldar de jusante, com comportamento adequado das subpressões no tapete e fundações. As cotas piezométricas indicam, ainda, comportamento de acordo com as linhas de fluxo apresentadas a seguir.

3.1.1.1 Rede de Fluxo na Condição de Operação Normal

Com base nas informações de projeto da UHE Caçu foi elaborado o modelo da Estaca 5+0,0 m na ferramenta computacional Slide v6.0, da Rocscience. A Figura 9 apresenta a interface do modelo numérico para permeabilidade com a malha de elementos finitos.

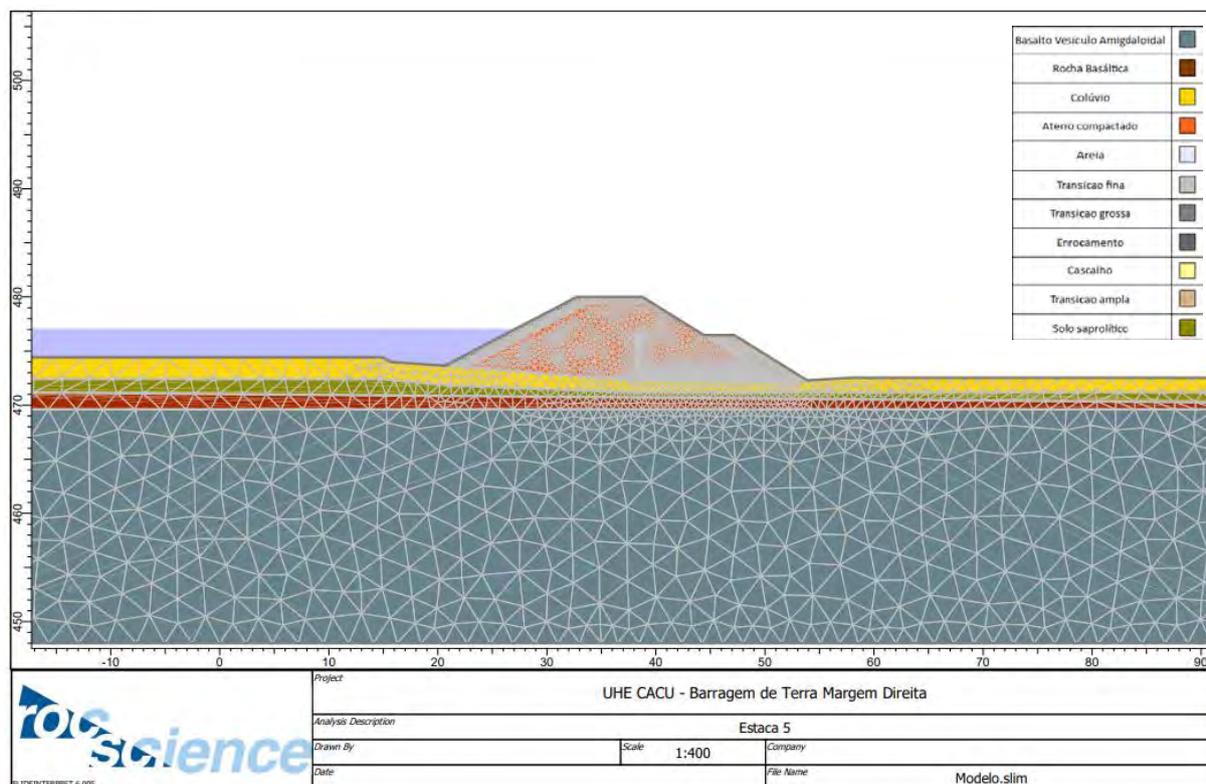


Figura 9. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 5+0,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório na elevação normal, estão representadas na Figura 10 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

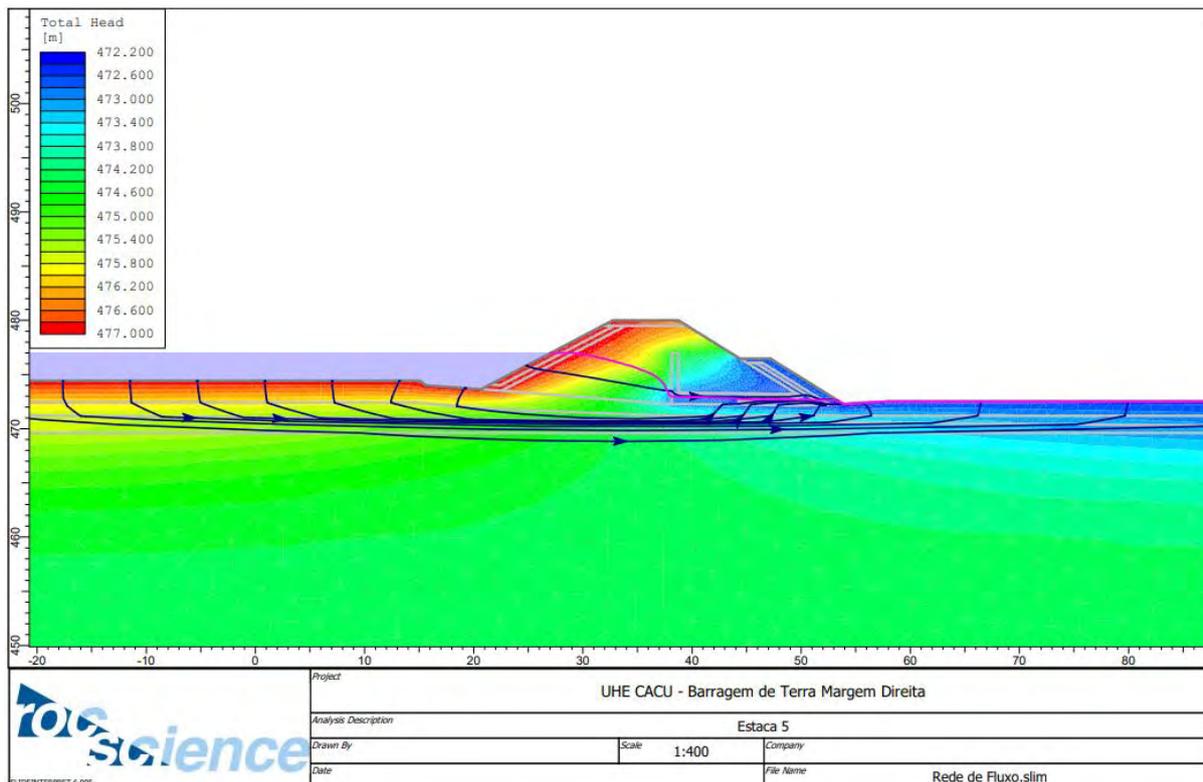


Figura 10. Rede de fluxo na Est. 5+0,0 m.

3.1.1.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955).

A Figura 11 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 13 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 12 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 14 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

Para a estabilidade dos taludes de jusante foram calculadas as superfícies críticas que mobilizassem o material do núcleo e não somente a camada superficial do enrocamento.

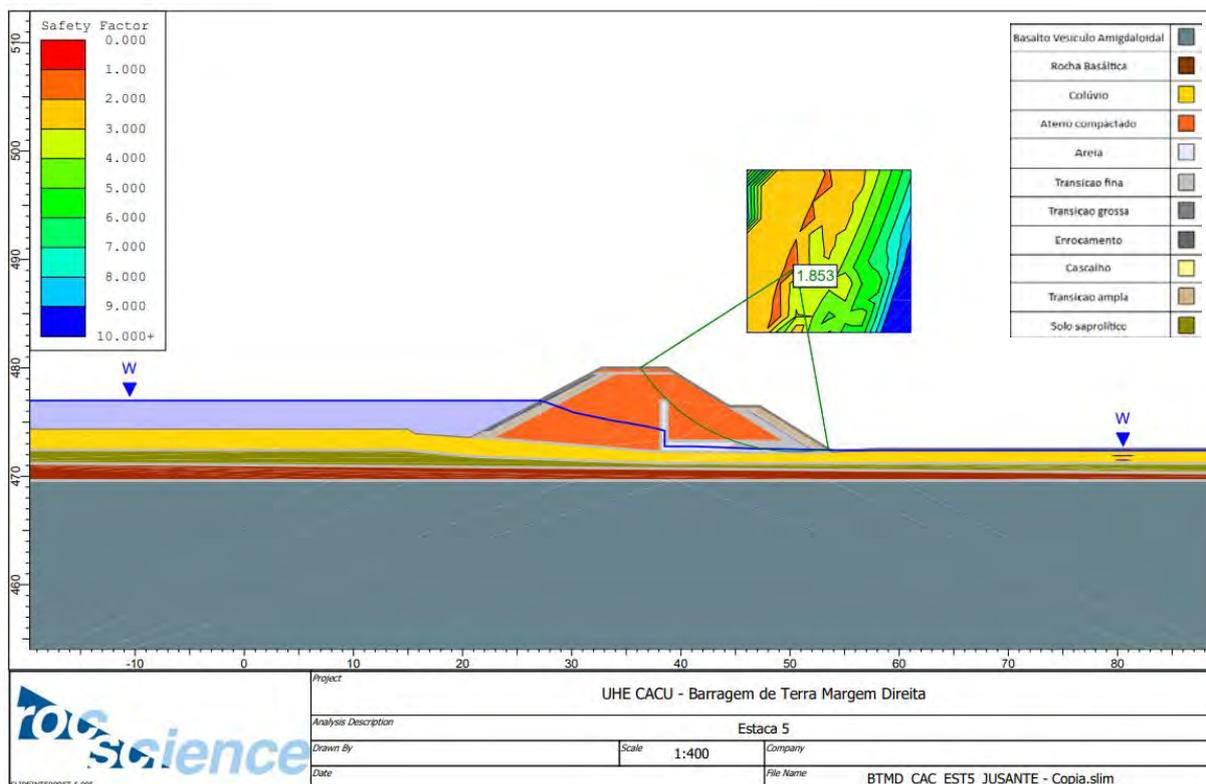


Figura 11. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 5+0,0 m.

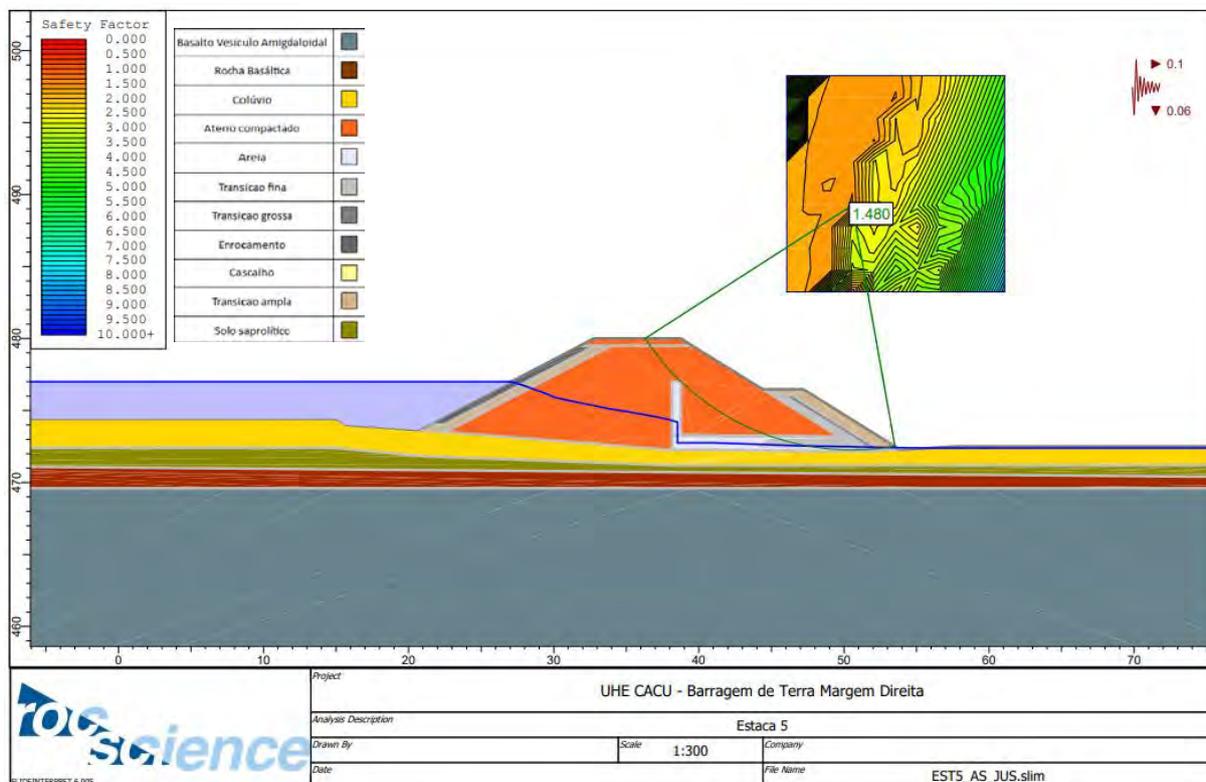


Figura 12. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 5+0,0 m.

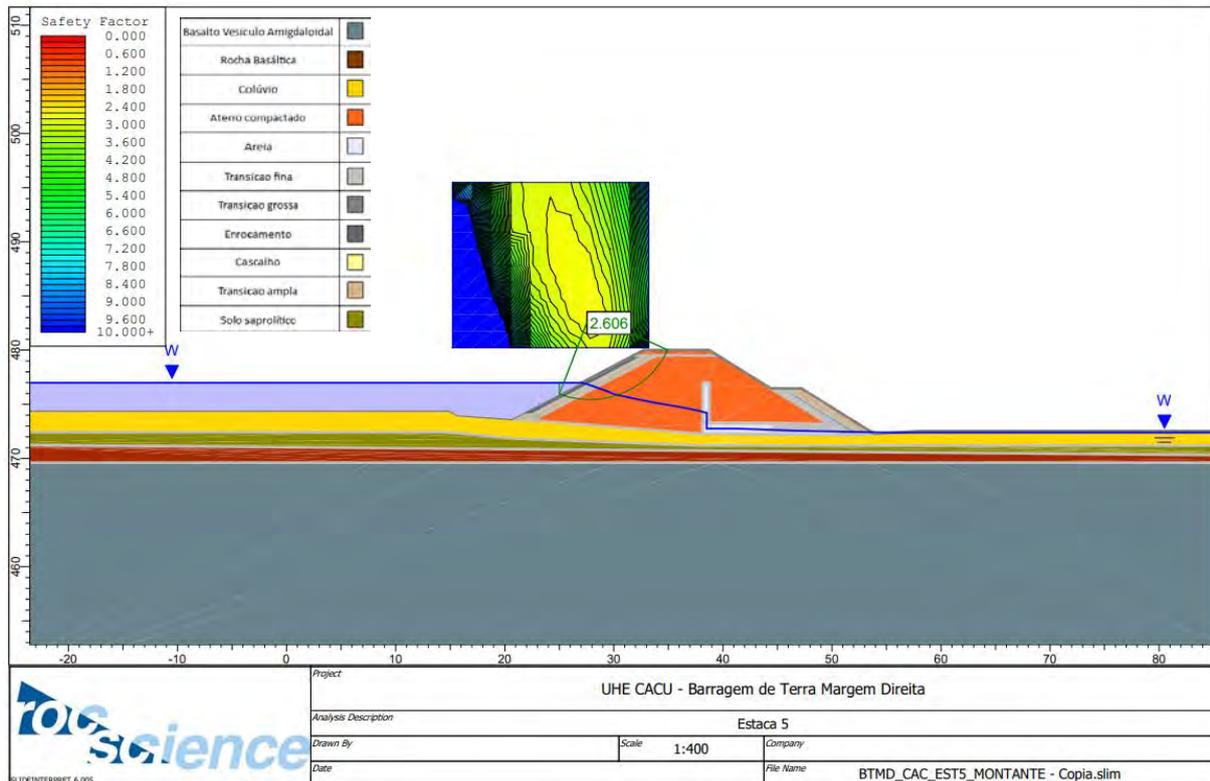


Figura 13. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 5+0,0 m.

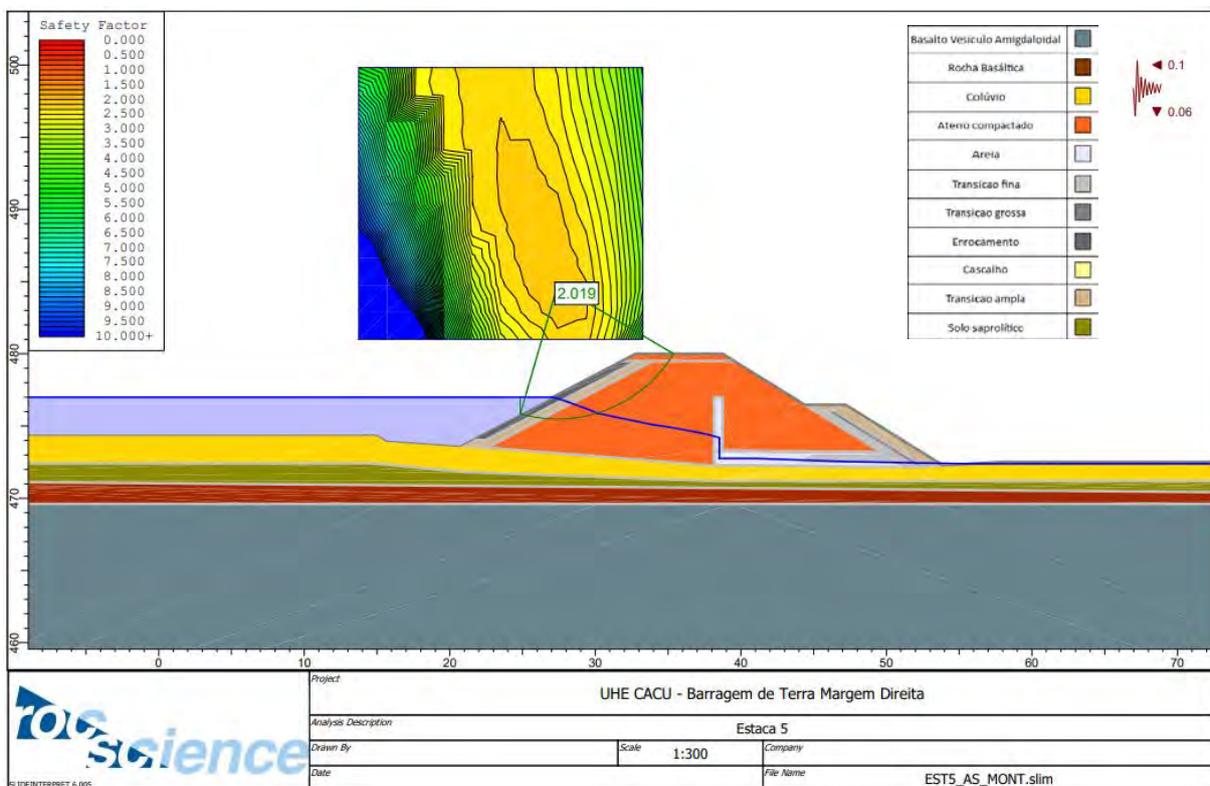


Figura 14. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 5+0,0 m.

3.1.1.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre a cota 477,00 [m-IBGE] e o pé do talude montante da Est. 5+0,0 m. A Figura 15 apresenta a análise realizada.

Também foram impostas condições de profundidade mínima de 2,0 m para essa análise.

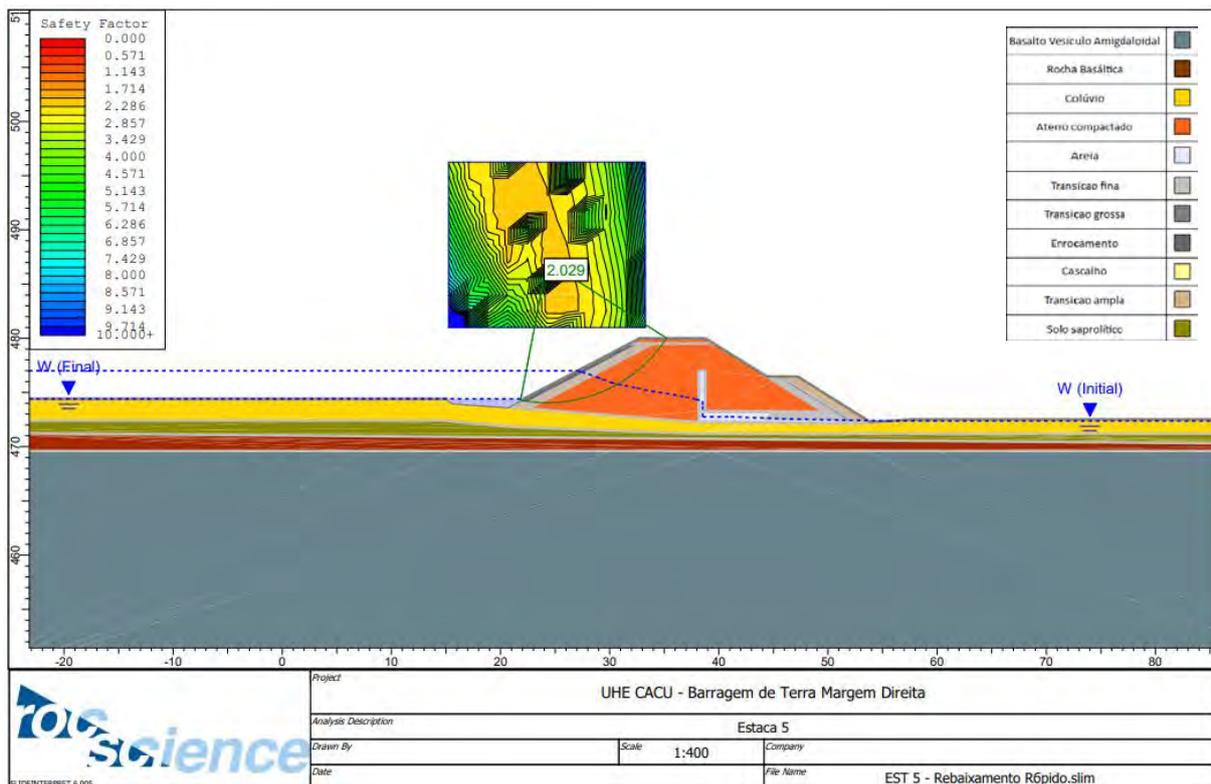


Figura 15. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na estaca 5+0,0 m.

3.1.1.4 Resumo dos fatores de segurança obtidos

Na Tabela 10 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 5+0,0 m.

Tabela 10. Resumo das informações da Estaca 5.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante Montante	Operação	1,853	1,822	1,876	1,874	1,500
		2,606	2,561	2,610	2,619	1,500
Jusante Montante	Operação - Com Sismos	1,480	1,449	1,502	1,498	1,100
		2,019	1,980	2,029	2,052	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	2,029	2,023	2,025	2,033	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 5+0,0 m atendem aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários

convergência do modelo numérico, pois a distorção excessiva dos triângulos (malha utilizada – triangular) pode levar a incongruência de resultados.

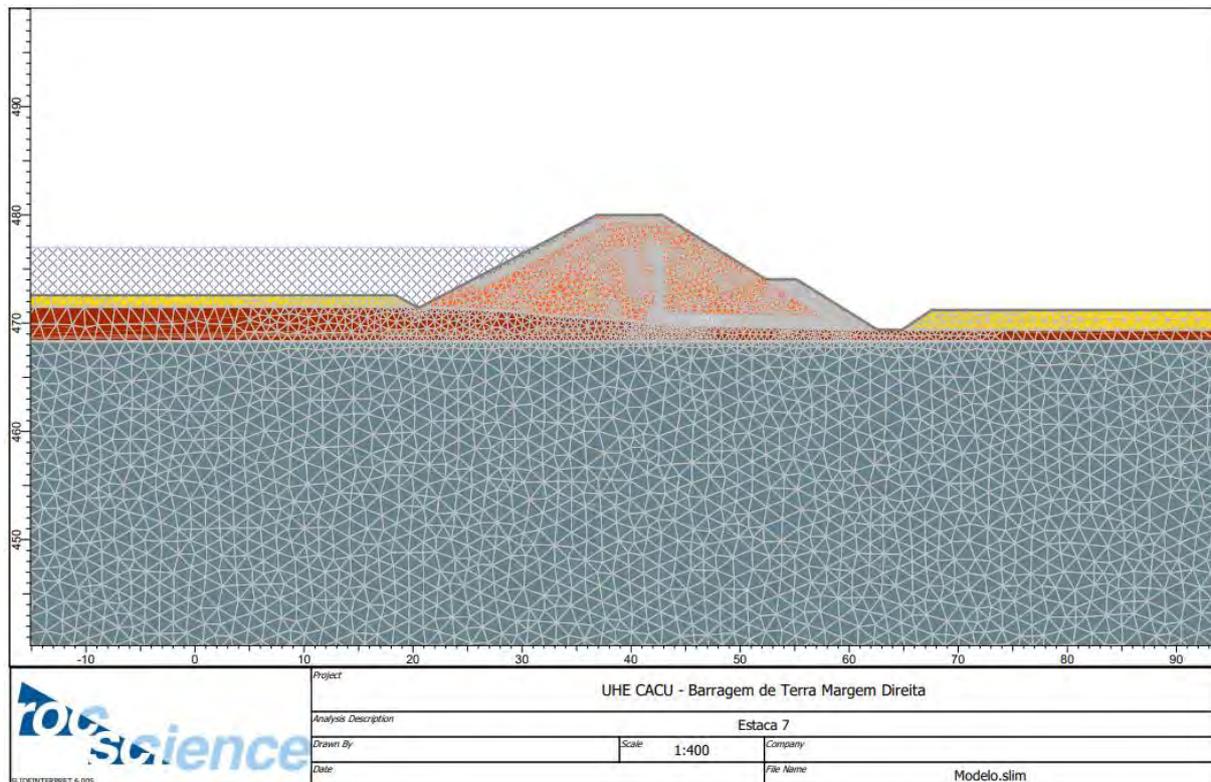


Figura 17. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 7+0,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório na elevação normal, estão representadas na Figura 18 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

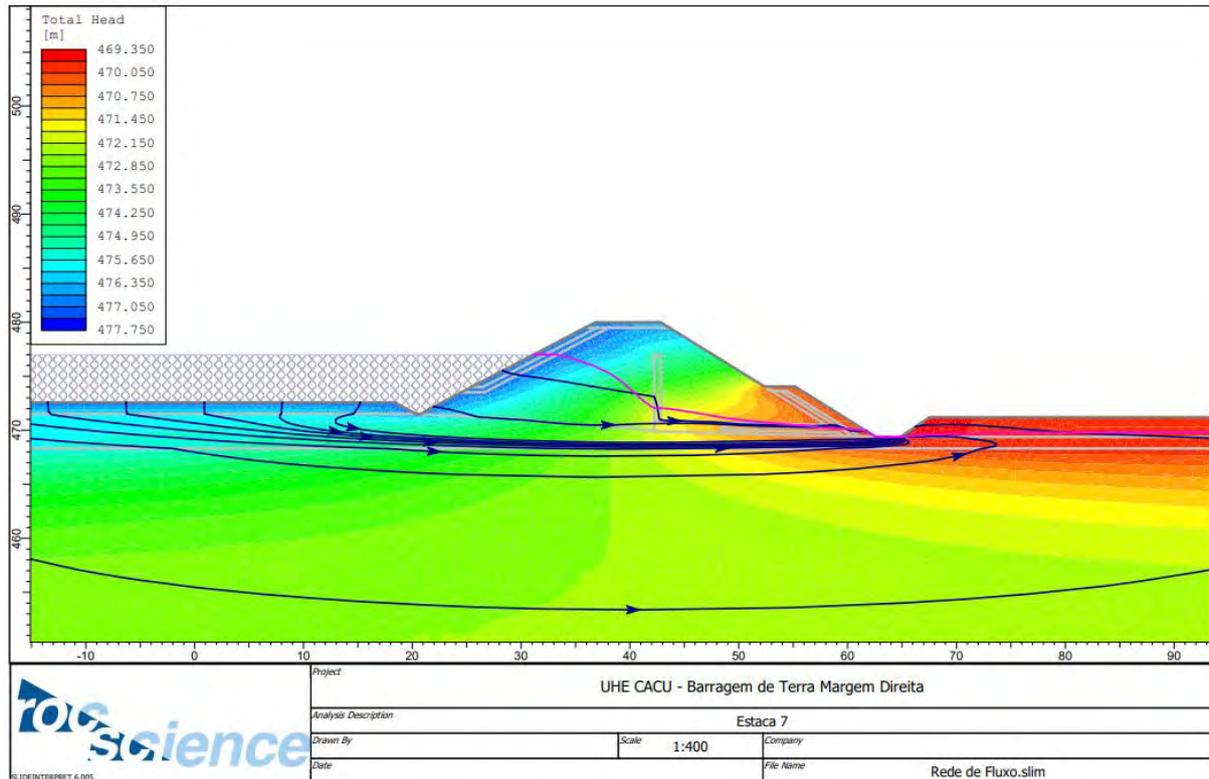


Figura 18. Rede de fluxo na Est. 7+0,0 m.

3.1.2.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 12.

As Figura 19 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 21 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 20 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 22 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

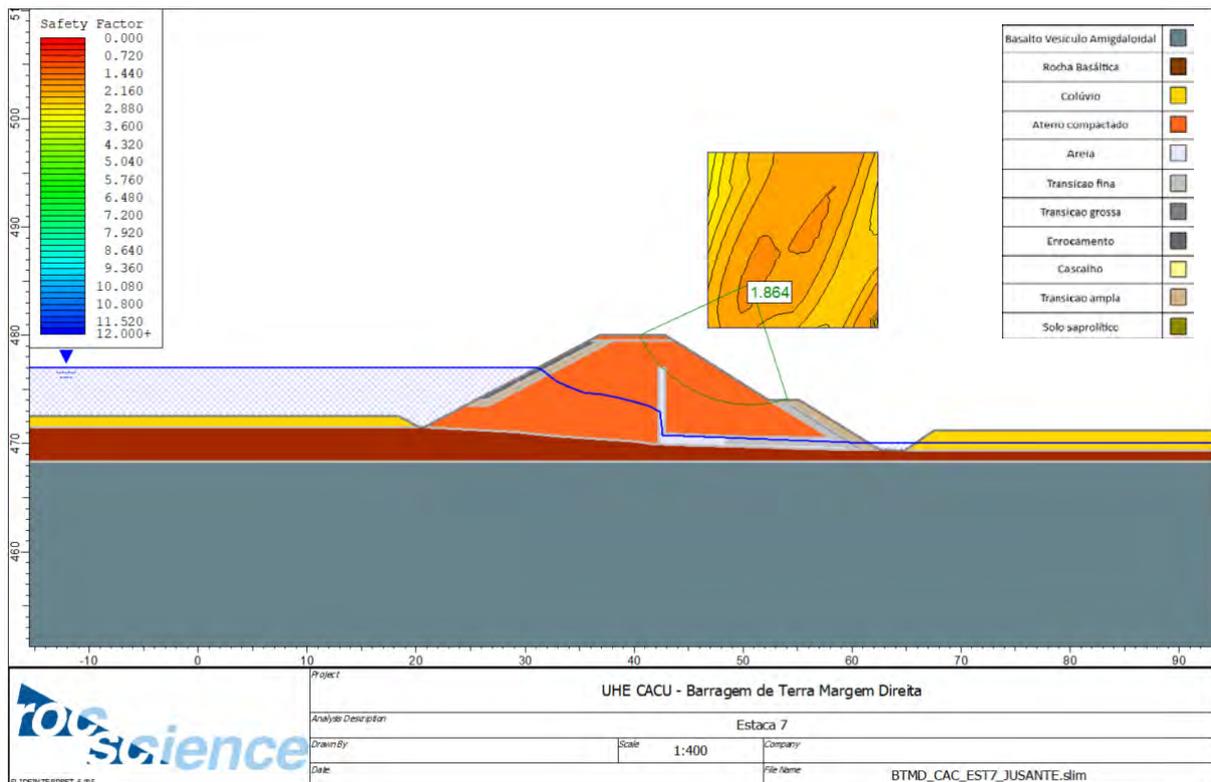


Figura 19. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 7+0,0 m.

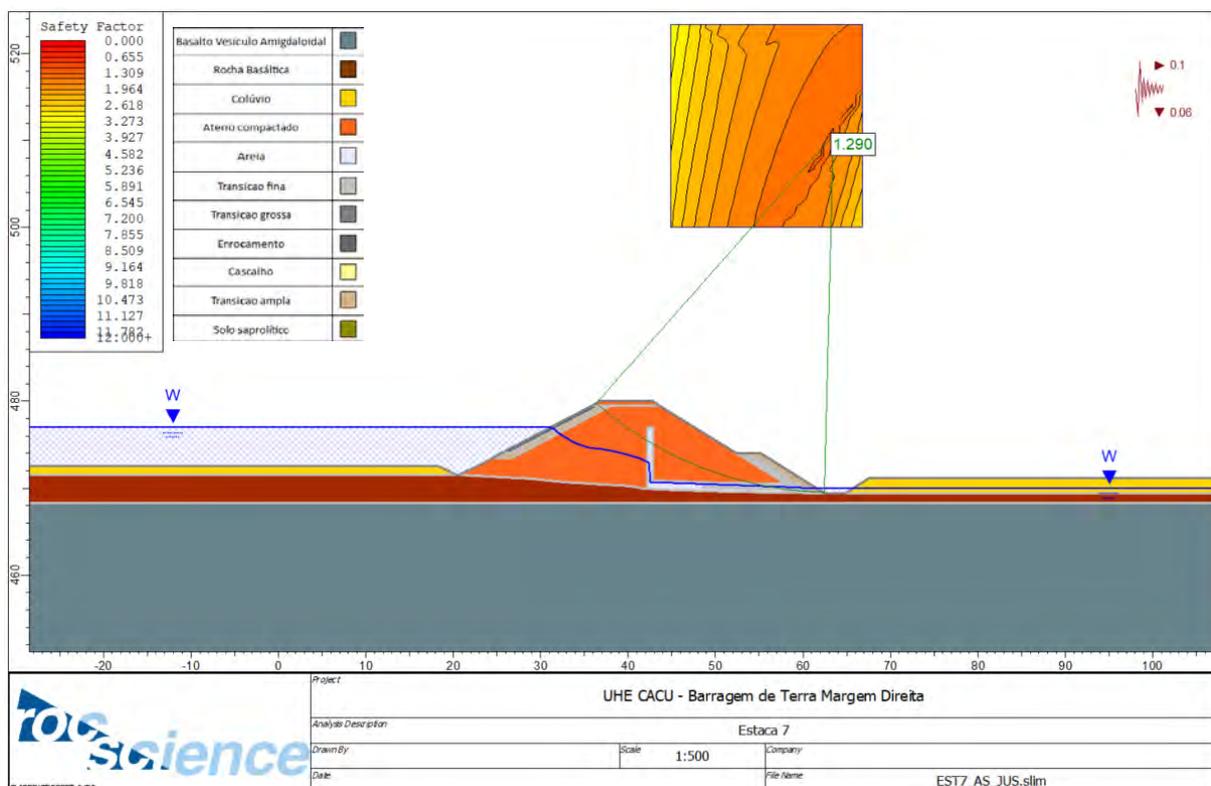


Figura 20. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 7+0,0 m.

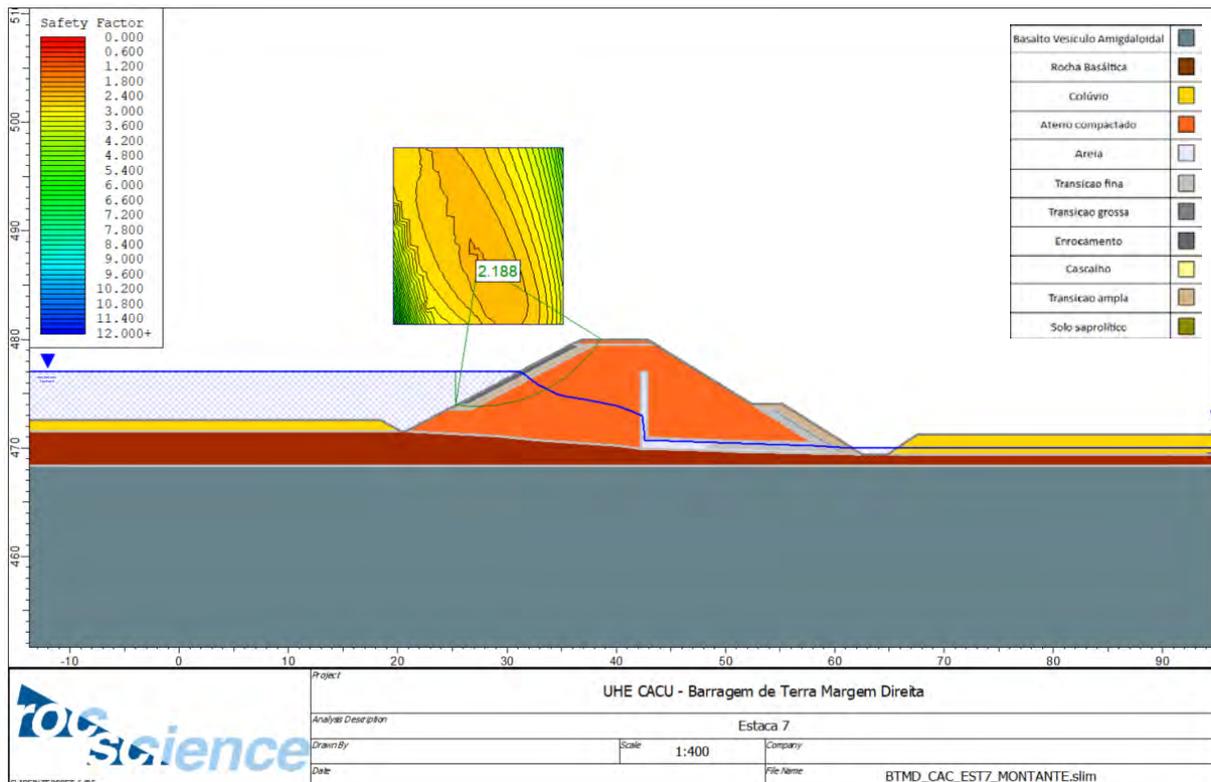


Figura 21. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 7+0,0 m.

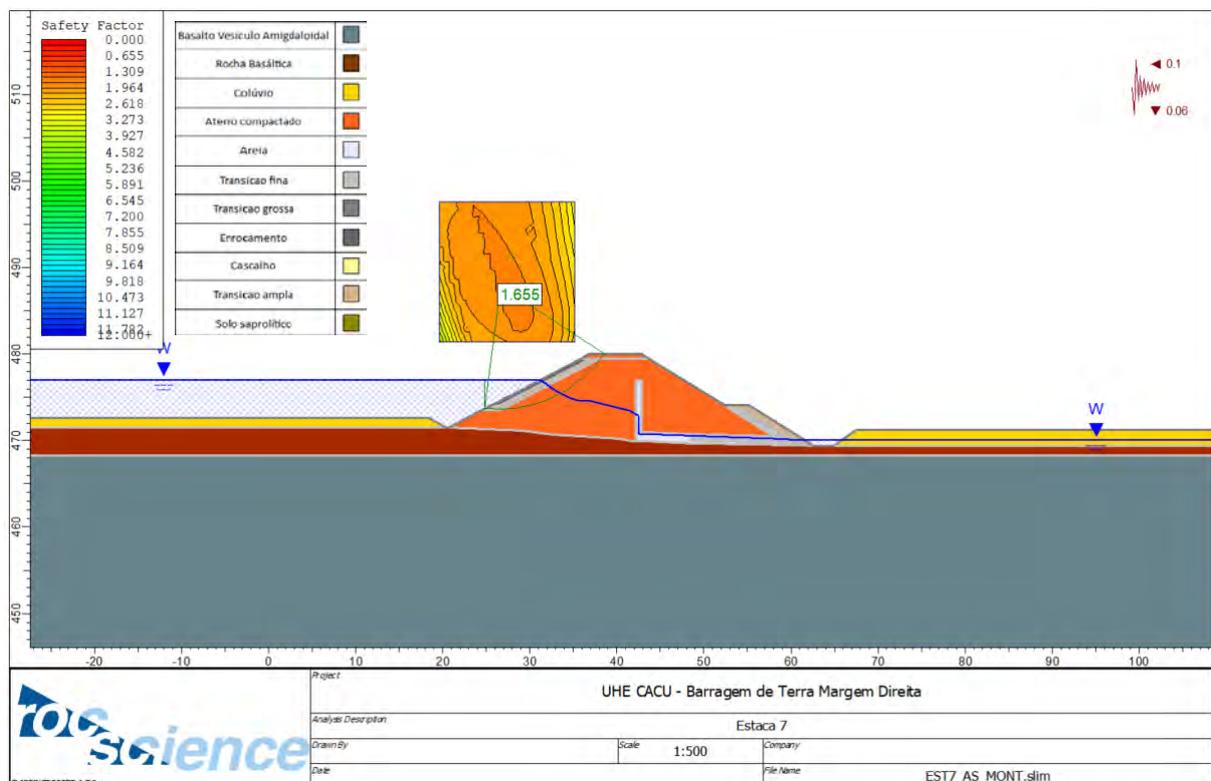


Figura 22. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 7+0,0 m.

3.1.2.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre a cota 477,00 [m-IBGE] e o pé do talude montante da Est. 7+0,0 m. A Figura 23 apresenta a análise realizada.

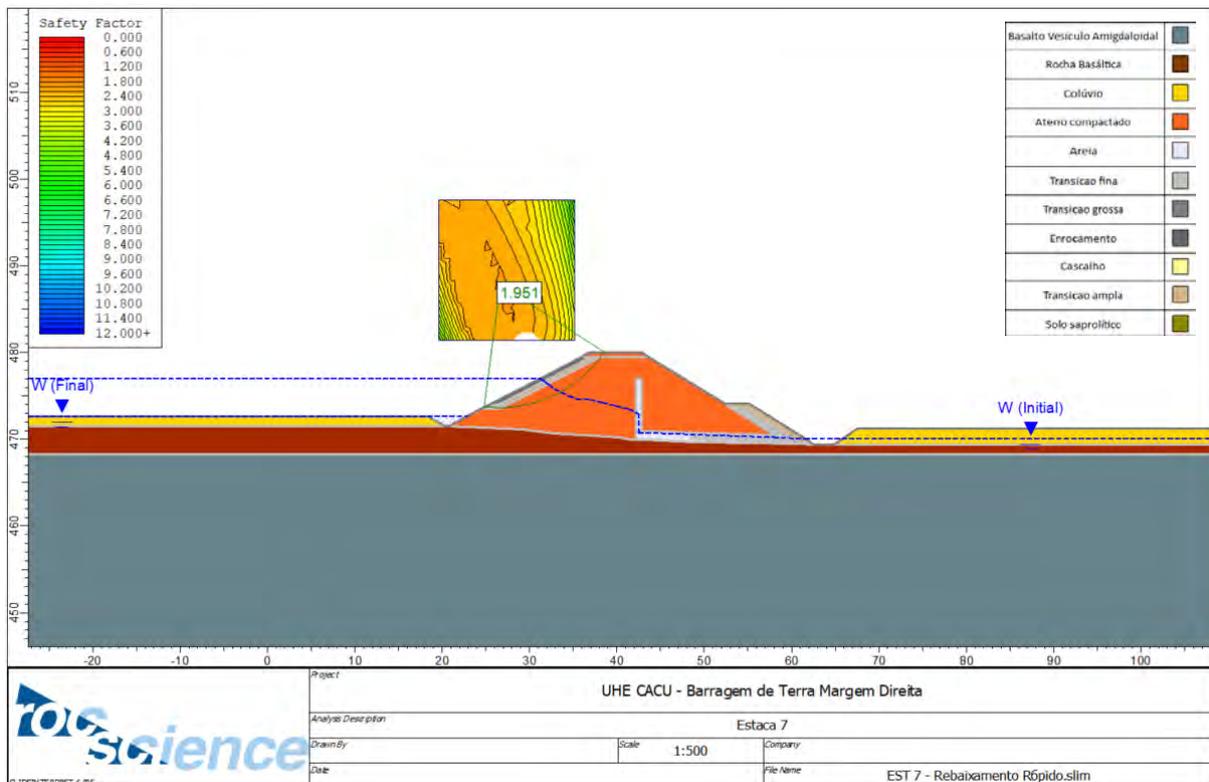


Figura 23. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção da Est. 7+0,0 m.

3.1.2.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 12 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 7+0,0 m.

Tabela 12 – Resumo das informações da Est. 7+0,0 m.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante	Operação	1,864	1,857	1,860	1,862	1,500
Montante		2,188	2,166	2,193	2,201	1,500
Jusante	Operação - Com Sismos	1,290	1,297	1,304	1,300	1,100
Montante		1,655	1,636	1,660	1,671	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	1,952	1,952	1,950	1,951	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 7+0,0 m são superiores aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

3.1.3 Estaca 8+4,0 m

A geometria da seção da estaca 8+4,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 24.

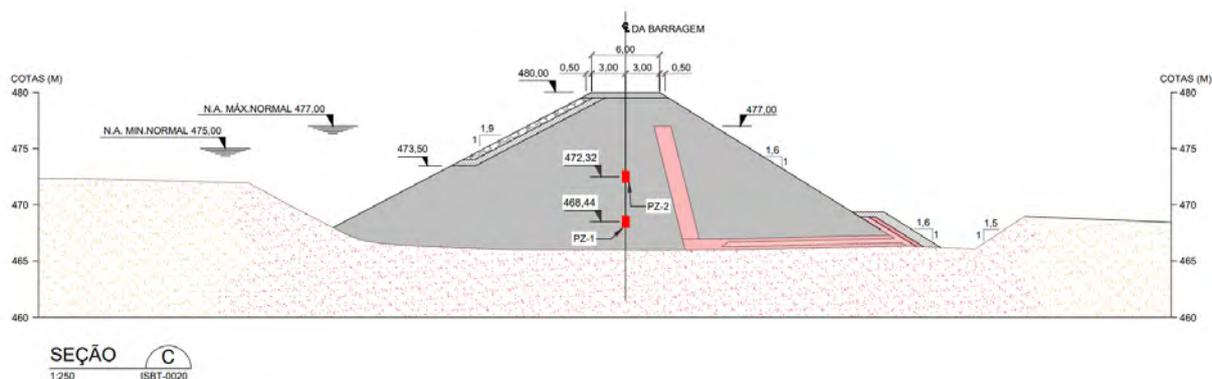


Figura 24. Seção da estaca 8+4,00 m da BTMD.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Margem Direita – Instrumentação – Seções e Detalhe (600-CAC-DES-ISBT-0021).

As informações dos instrumentos instalados na seção da Est. 8+4,0 m estão apresentadas na Tabela 13, onde também constam os valores das leituras realizadas em abril e maio de 2022.

Tabela 13. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 8+4,00.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]	Cota de Leitura	Cota de Leitura
			[m-IBGE] 25/04/2022	[m-IBGE] 10/05/2022
PZ – 01	468,44	480,05	470,94	470,93
PZ – 02	472,32	480,06	475,06	475,08

Segundo as leituras da última campanha de medições, os níveis piezométricos indicam que não há elevação da freática no espaldar de jusante, com comportamento adequado das subpressões no tapete e fundações. As cotas piezométricas indicam, ainda, comportamento de acordo com as linhas de fluxo apresentadas a seguir.

3.1.3.1 Rede de Fluxo na Condição de Operação Normal

Com base nas informações de projeto da UHE Caçu foi elaborado o modelo da Estaca 8+4,0 m na ferramenta computacional Slide v6.0, da Rocscience. A Figura 25 apresenta a interface do modelo numérico para permeabilidade com a malha de elementos finitos.

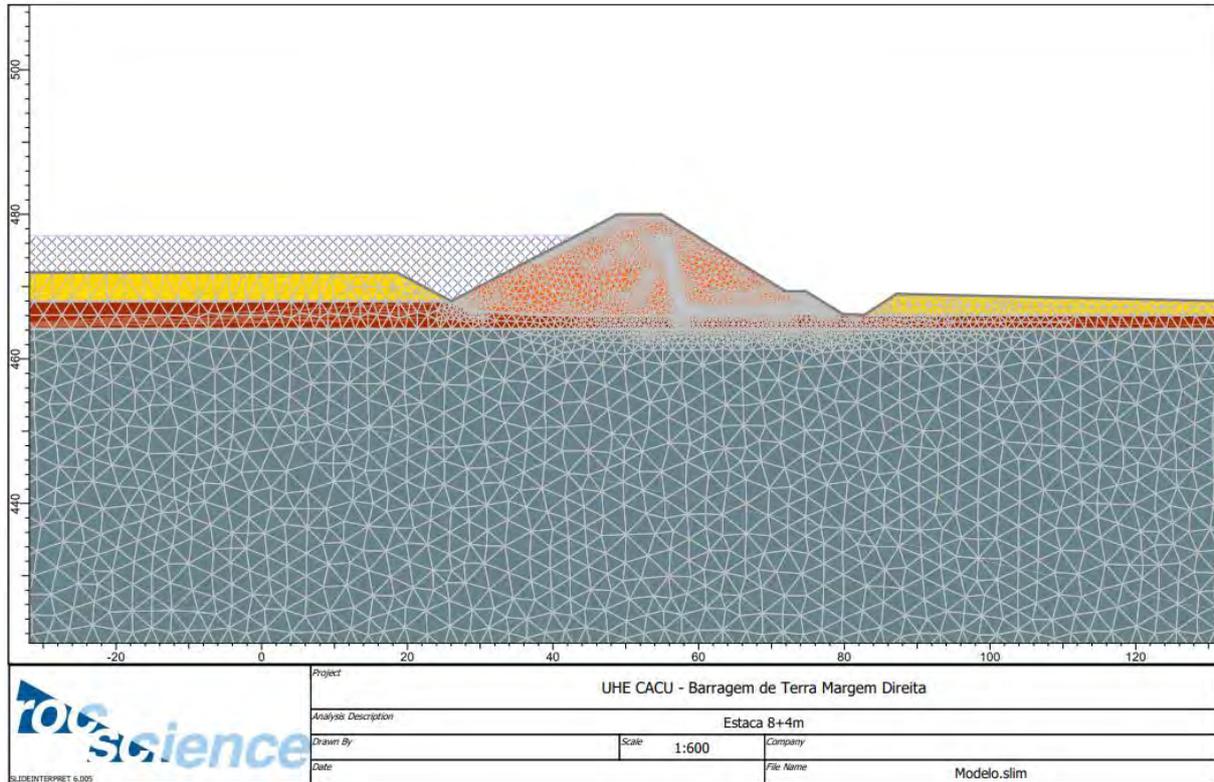


Figura 25. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 8+4,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório elevação normal, estão representadas na Figura 26 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

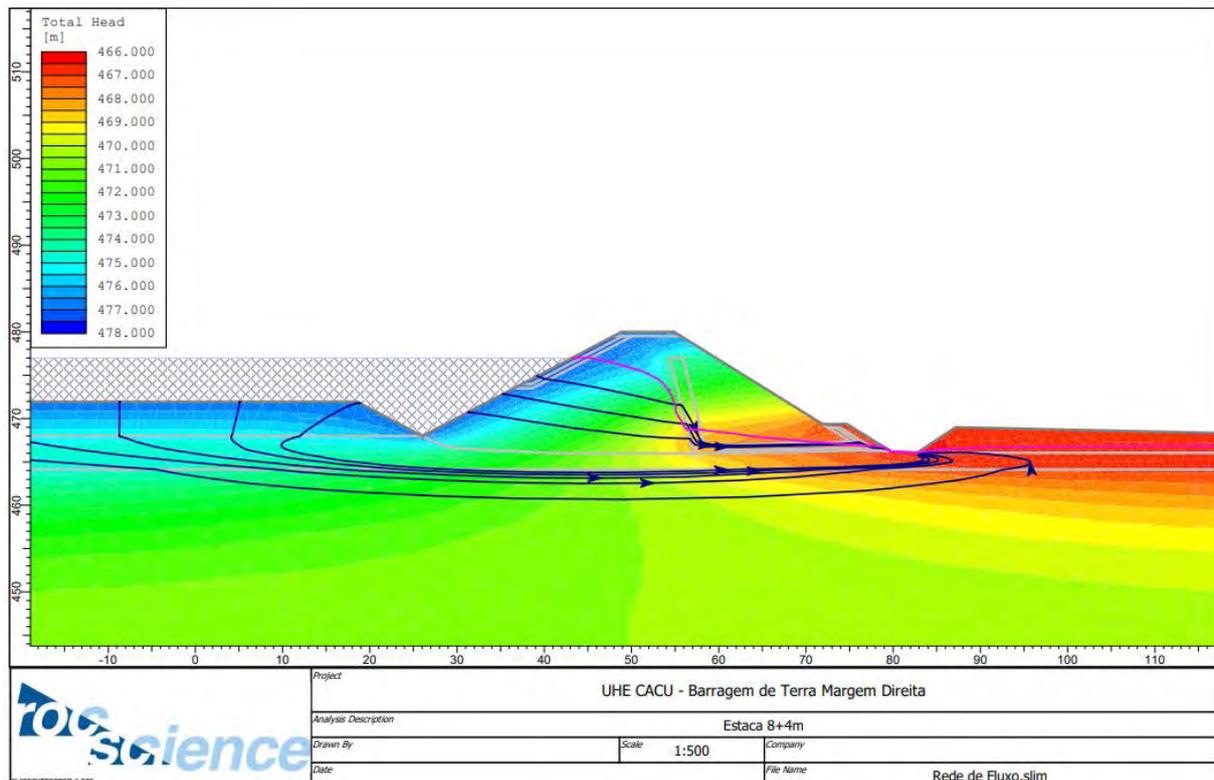


Figura 26. Rede de fluxo na Est. 8+4,0 m.

3.1.3.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 14.

As Figura 27 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 29 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 28 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 30 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

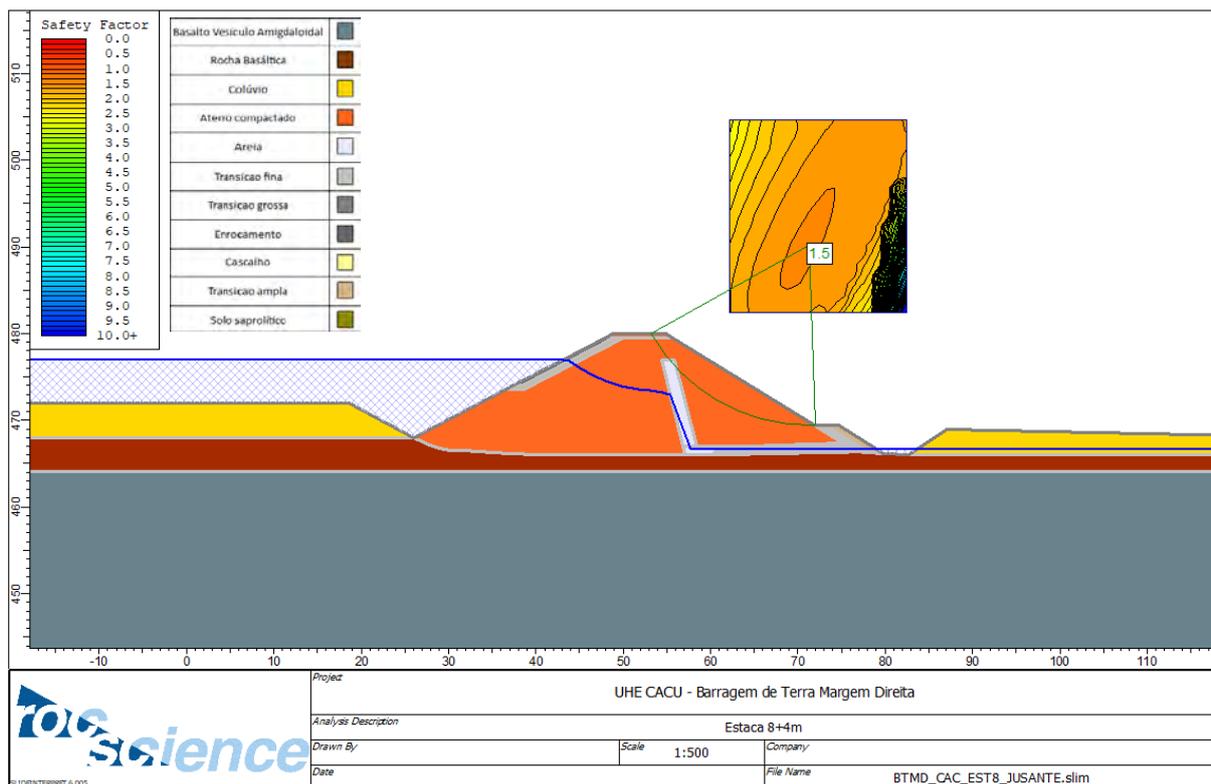


Figura 27. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 8+4,0 m.

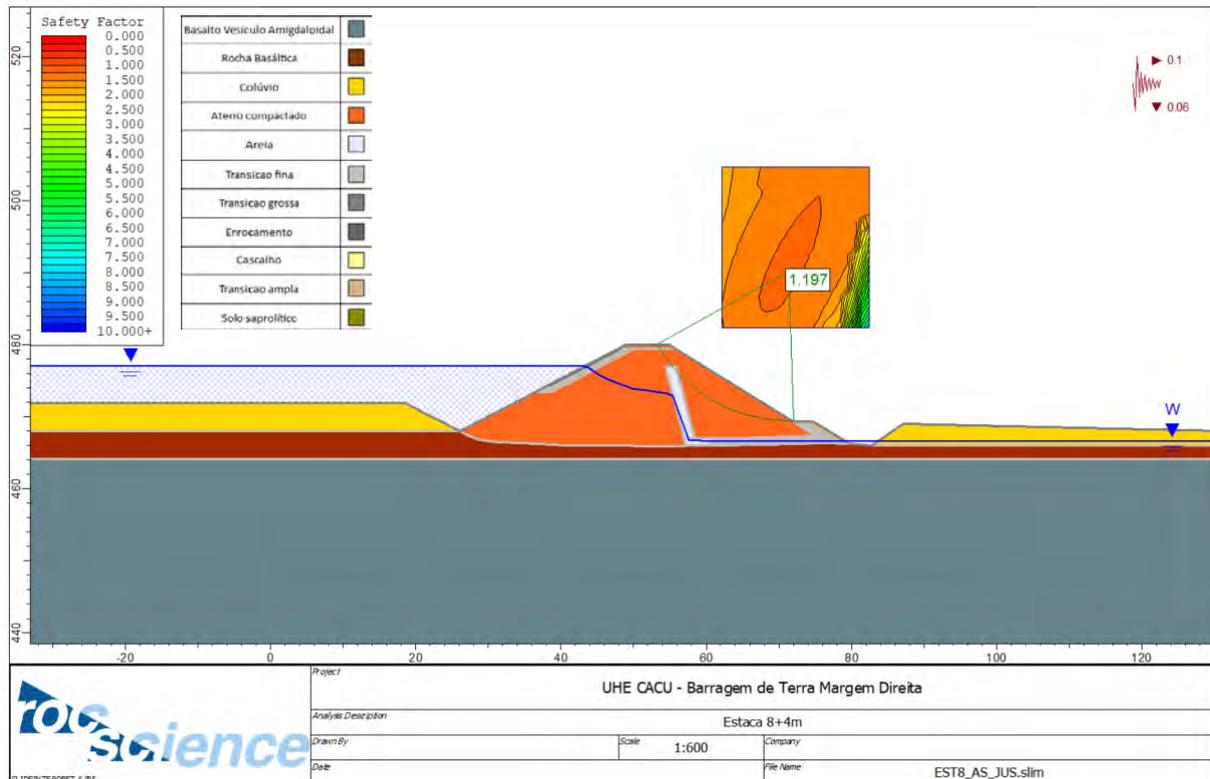


Figura 28. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 8+4,0 m.

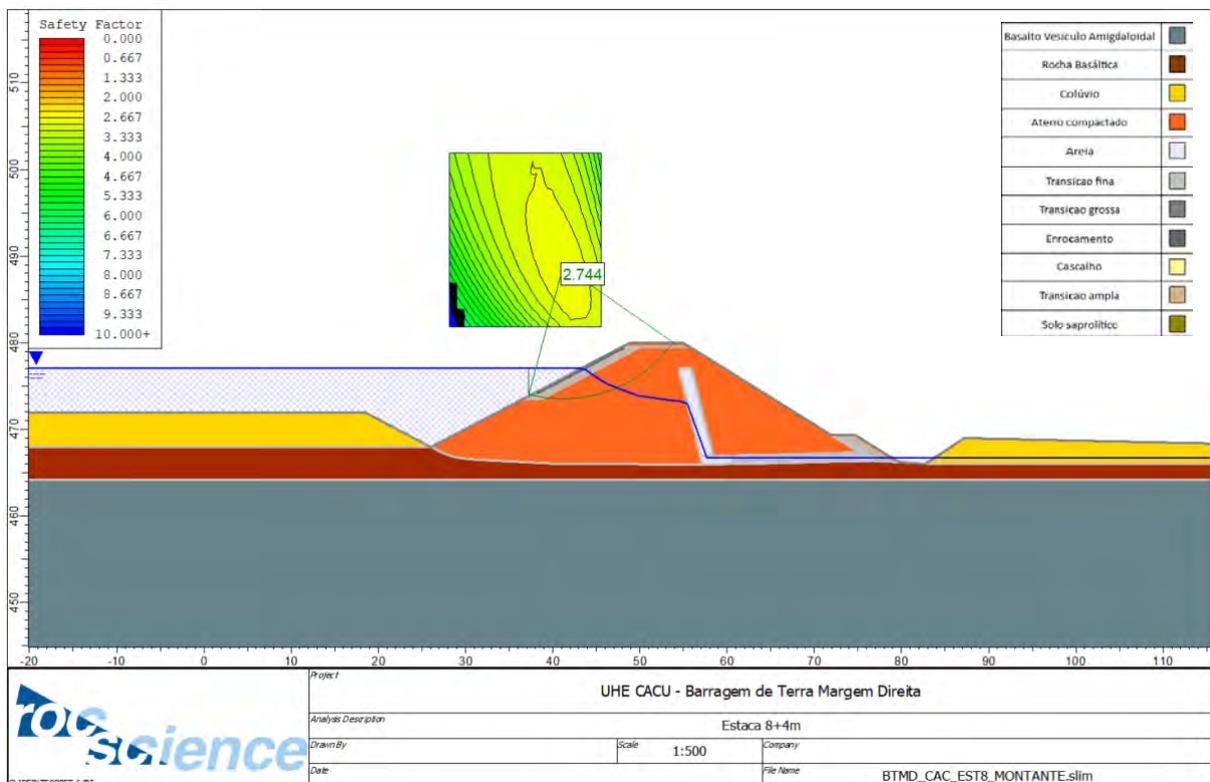


Figura 29. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 8+4,0 m.

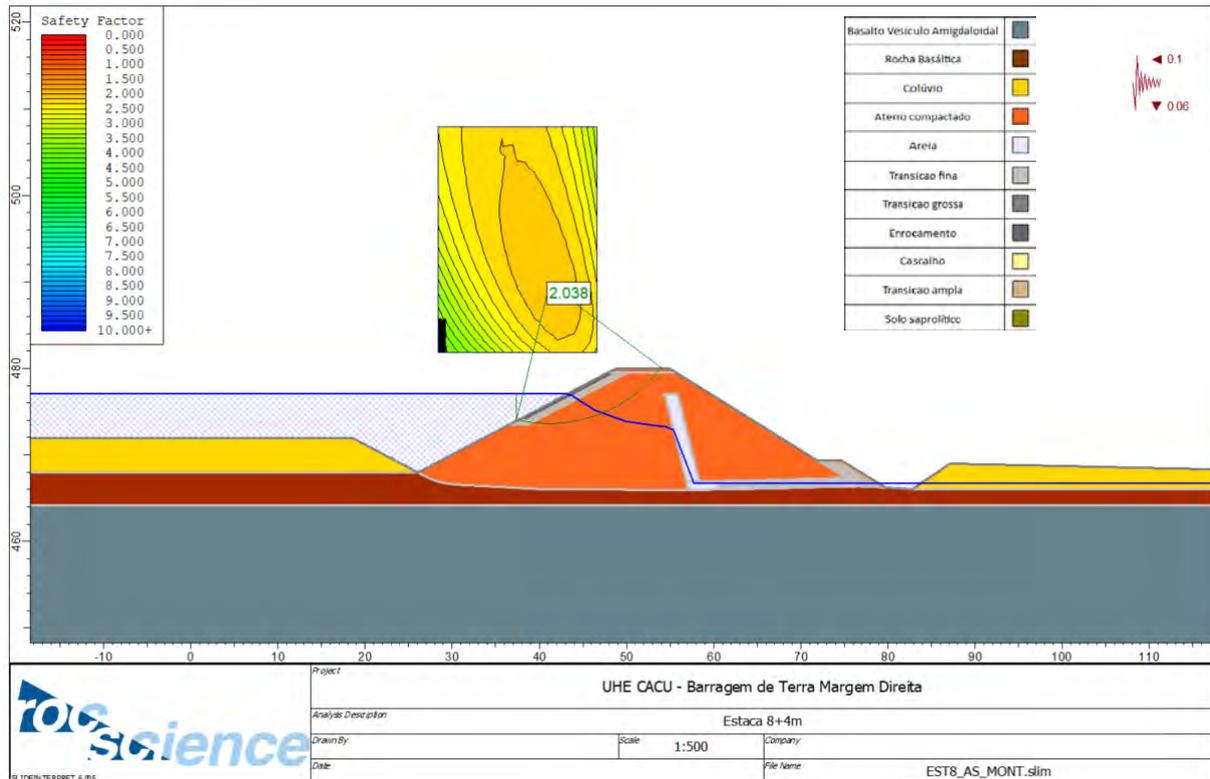


Figura 30. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 8+4,0 m.

3.1.3.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre a cota 477,00 [m-IBGE] e o pé do talude montante da Est. 8+4,0 m. A Figura 31 apresenta a análise realizada.

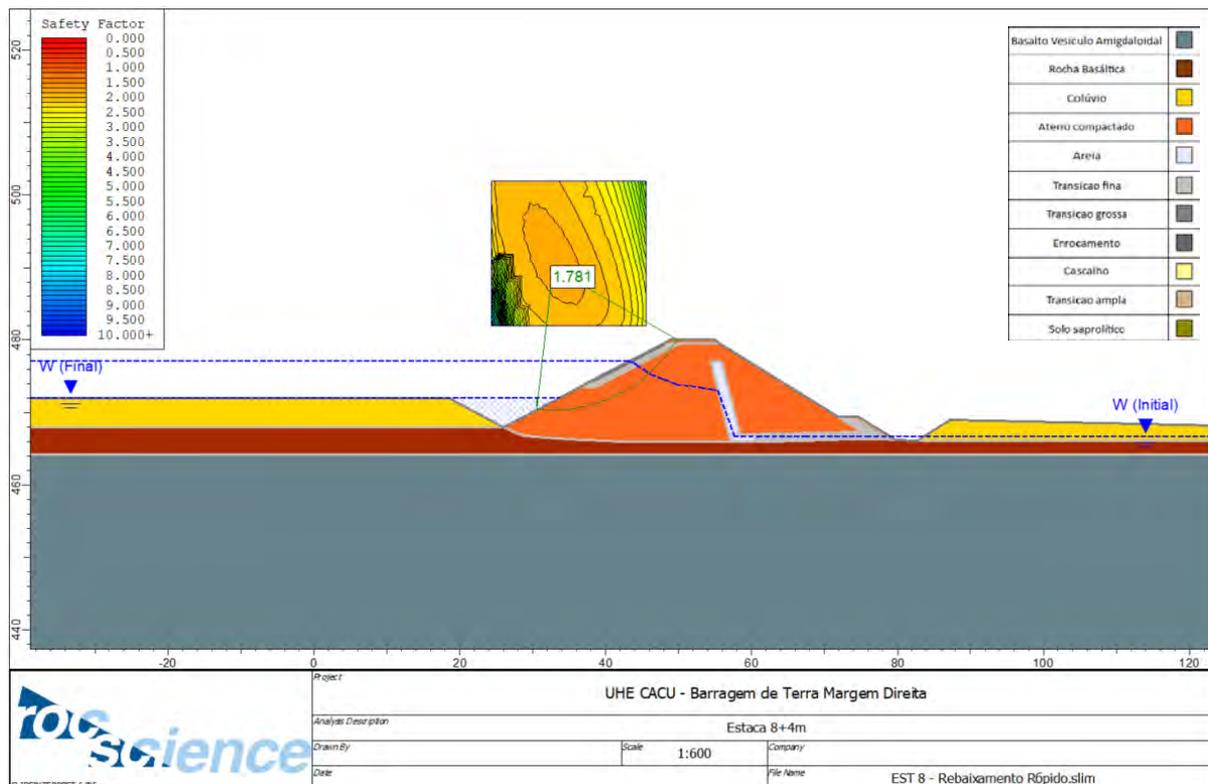


Figura 31. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na Est. 8+4,0.

3.1.3.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 14 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 8+4,0 m.

Tabela 14. Resumo das informações da Est. 8+4,0 m.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante	Operação	1,500	1,500	1,500	1,450	1,500
Montante		2,744	2,643	2,744	2,752	1,500
Jusante	Operação - Com Sismos	1,197	1,184	1,189	1,193	1,100
Montante		2,038	1,970	2,041	2,052	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	1,781	1,761	1,774	1,776	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 8+4,0 m atendem aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

Apesar do talude de jusante ter apresentado, no método Spencer, um FS abaixo do recomendado, a seção pode ser considerada estável, uma vez que os demais métodos

utilizados apresentaram o FS indicado pela norma. Isso ocorre porque os métodos se adequam de maneiras diferentes para cada análise.

3.2 BARRAGEM DE TERRA DA MARGEM ESQUERDA (BTME)

Na Barragem de Terra da Margem Esquerda (BTME) foram realizadas análises em 9 (nove) seções, sendo estas nas seguintes estacas: Est. 20+12,0 m; Est. 21+12,0 m; Est. 23+10,0 m; Est. 25+0,0 m; Est. 30+0,0 m; Est. 33+10,0 m; Est. 36+16,0 m; Est. 41+6,0 m; e Est. 46+5,0 m.

As informações das análises para estas estacas estão apresentadas na sequência.

3.2.1 Estaca 20+12,0 m

A geometria da seção da estaca 20+12,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 32.

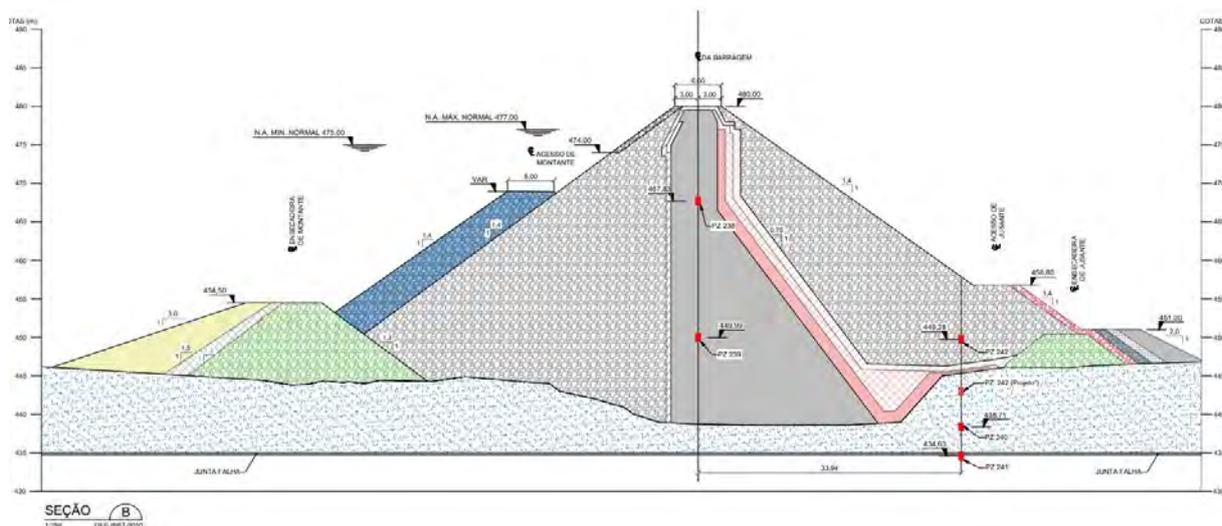


Figura 32. Seção da estaca 20+12,00 da BTME.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço até Est. 35+00 – Instrumentação (600-CAC-DES-ISBT-0011).

As informações dos instrumentos instalados na seção da Est. 20+12,0 m estão apresentadas na Tabela 15, onde também constam os valores das leituras realizadas em abril e maio de 2022.

Tabela 15. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 20+12,0.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]	Cota de Leitura [m-IBGE]	Cota de Leitura [m-IBGE]
			26/04/2022	10/05/2022
PZ – 238	467,83	480,07	470,99	471,02
PZ – 239	449,99	480,06	464,26	464,30
PZ – 240	438,71	459,26	449,39	449,32
PZ – 241	434,63	459,25	449,57	449,53
PZ – 242*	449,28	459,25	-	-

*Nota: instrumento desativado.

Segundo as leituras da última campanha de medições, os níveis piezométricos indicam que não há elevação da freática no espaldar de jusante, com comportamento adequado das subpressões no tapete e fundações. As cotas piezométricas indicam, ainda, comportamento de acordo com as linhas de fluxo apresentadas a seguir.

3.2.1.1 Rede de Fluxo na Condição de Operação Normal

Com base nas informações de projeto da UHE Caçu foi elaborado o modelo da Estaca 20+12,0 m na ferramenta computacional Slide v6.0, da Rocscience. A Figura 33 apresenta a interface do modelo numérico para permeabilidade com a malha de elementos finitos.

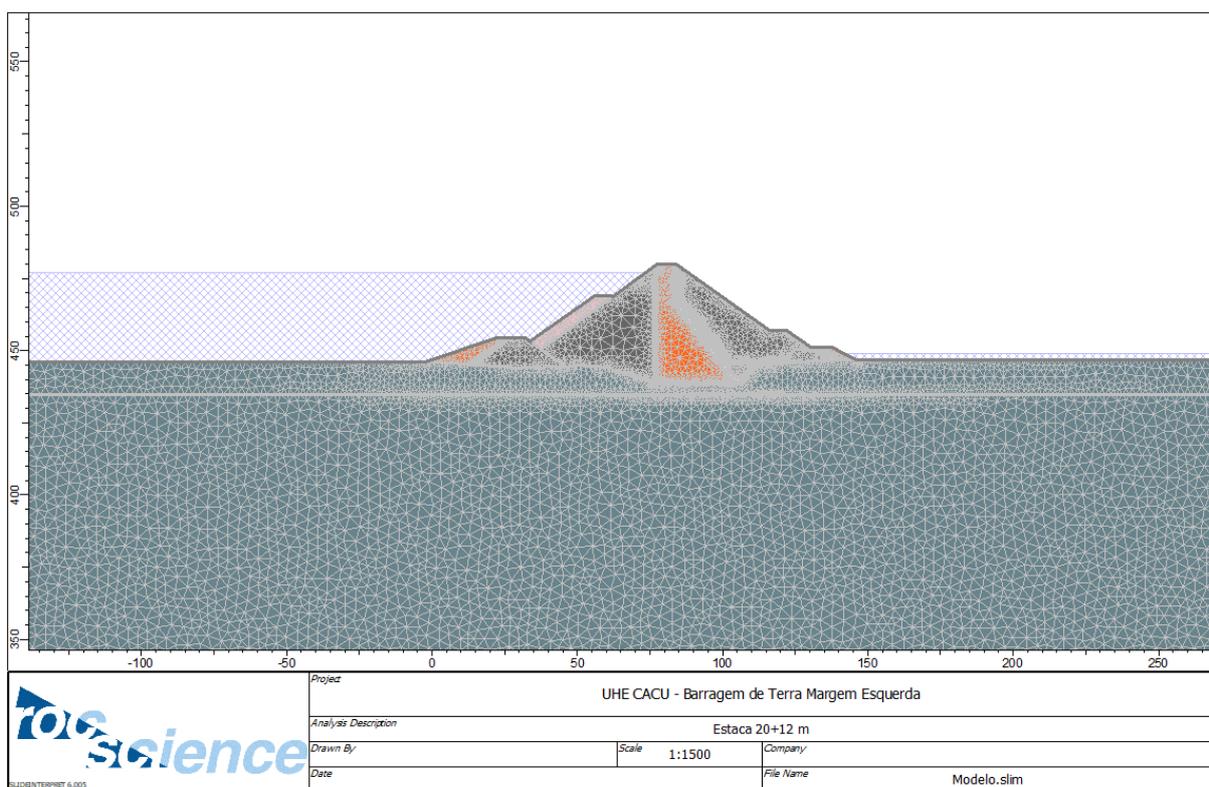


Figura 33. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 20+12,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório elevação normal, estão representadas na Figura 34 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

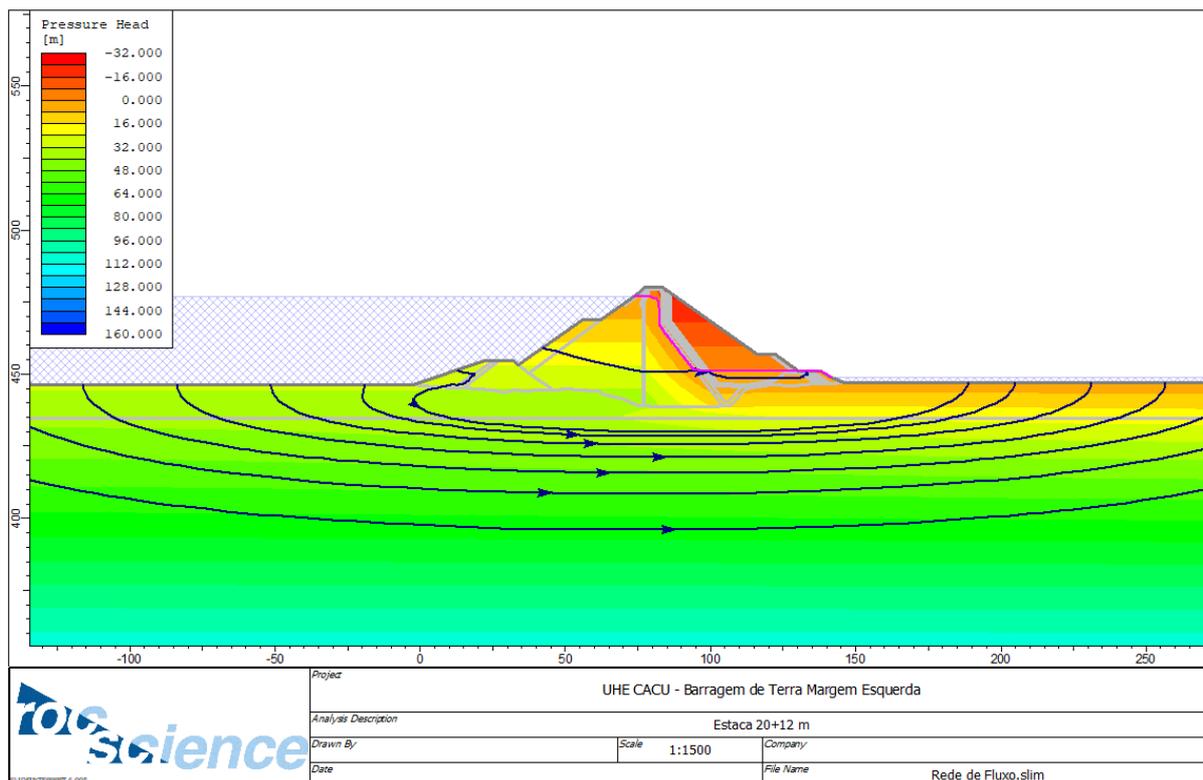


Figura 34. Rede de fluxo na Est. 20+12,0 m.

3.2.1.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 16.

A Figura 35 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 37 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 36 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 38 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

Para a estabilidade dos taludes de montante e de jusante foram calculadas as superfícies críticas que mobilizassem o material do núcleo e não somente parte superficial do enrocamento.

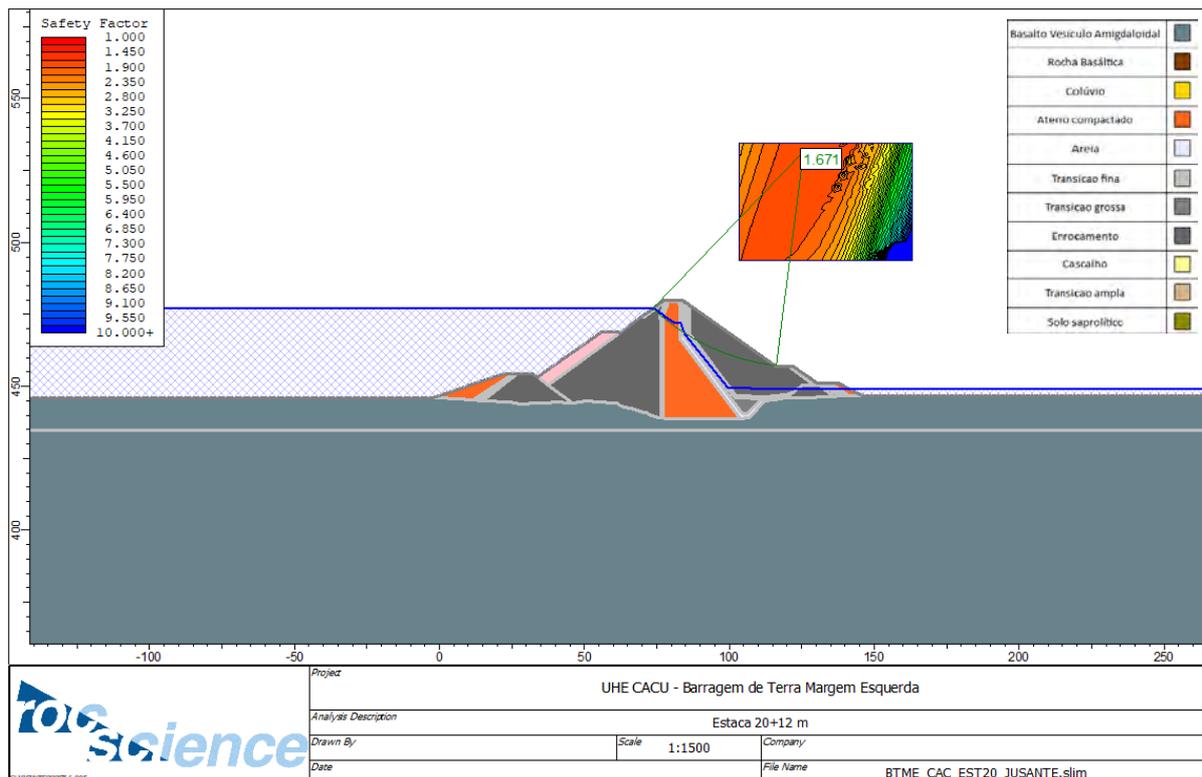


Figura 35. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 20+12,0 m.

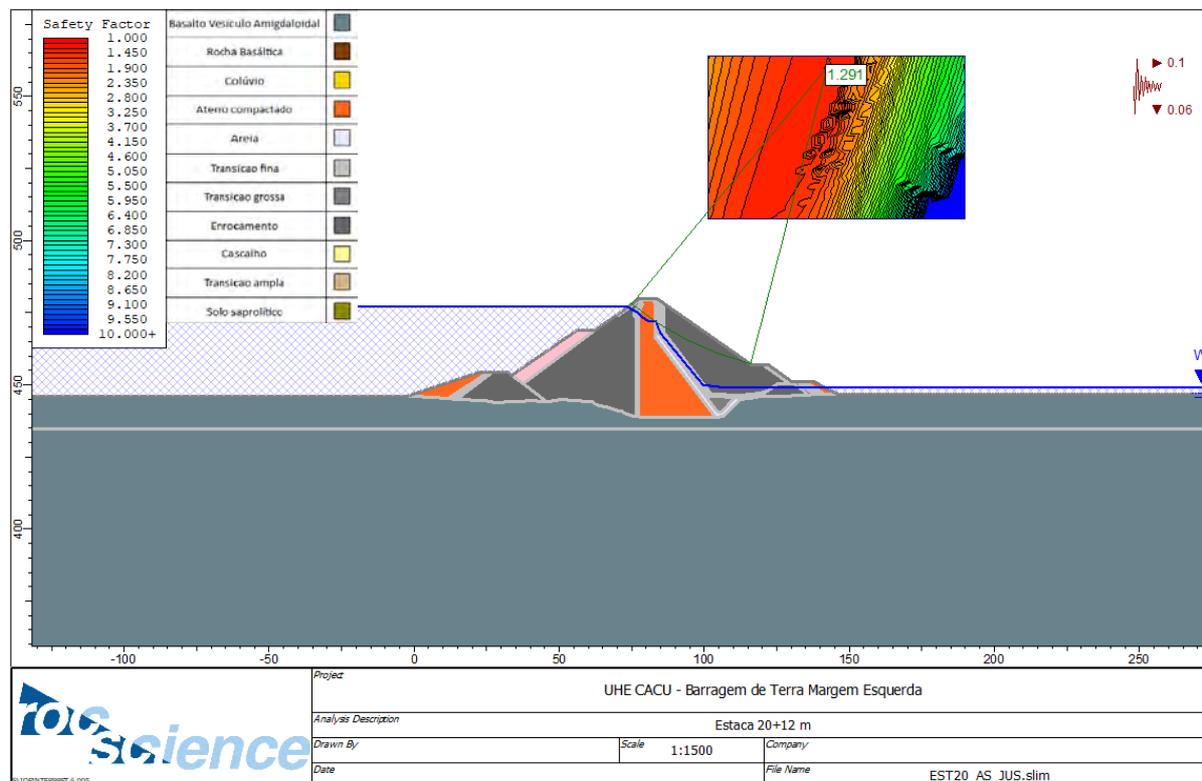


Figura 36. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 20+12,0 m.

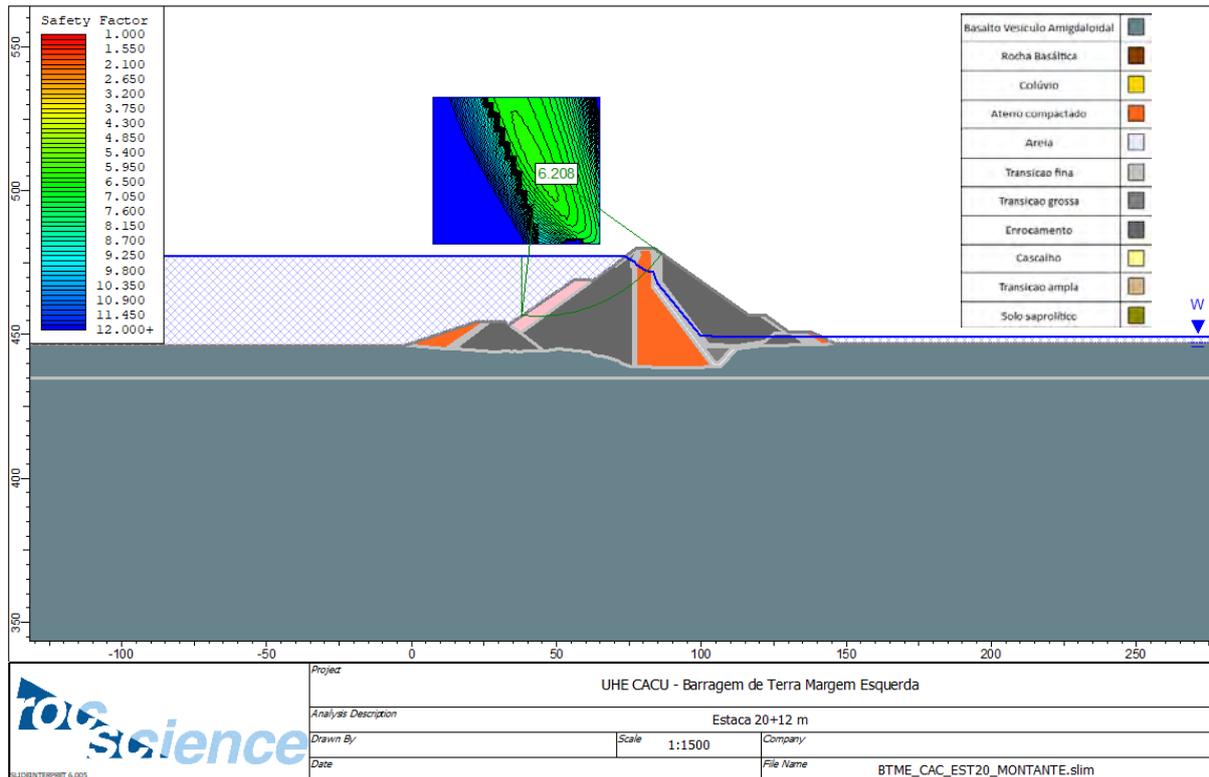


Figura 37. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 20+12,0 m.

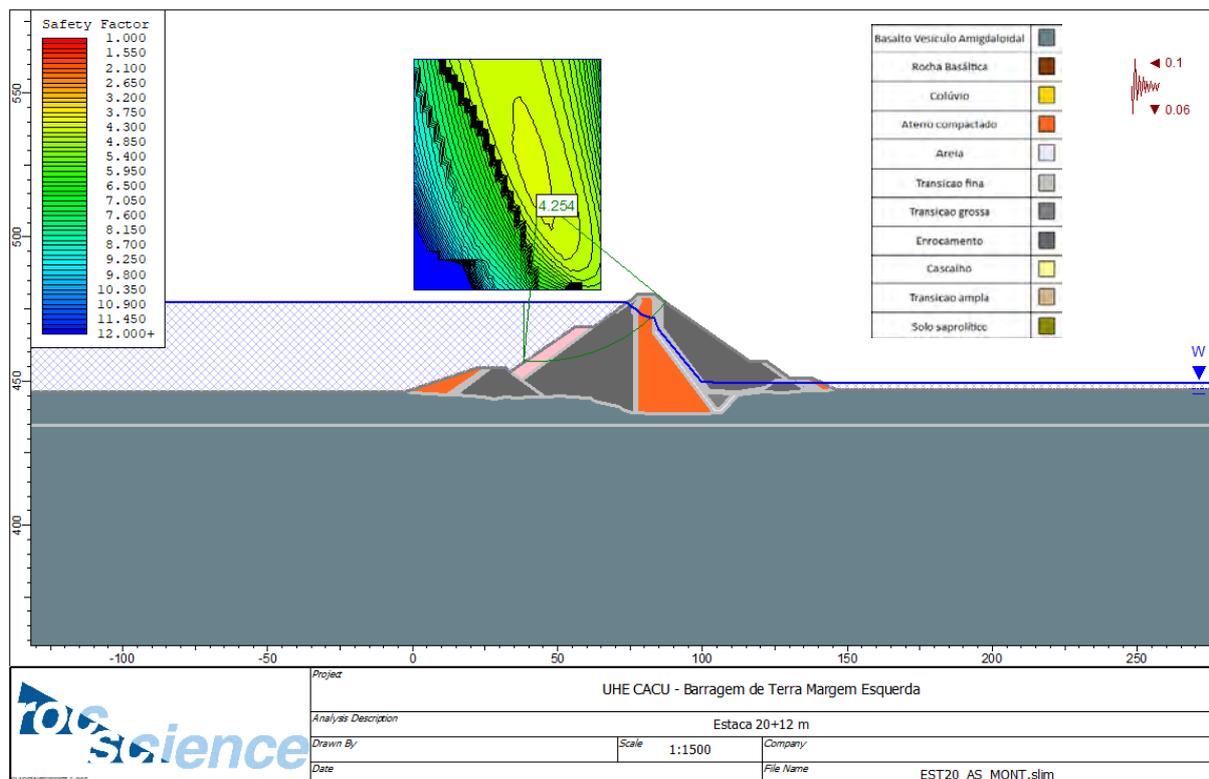


Figura 38. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 20+12,0 m.

3.2.1.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre as cotas 477,00 [m-IBGE] e 464,55 [m-IBGE], correspondente à elevação da crista do vertedouro. A Figura 39 apresenta a análise realizada.

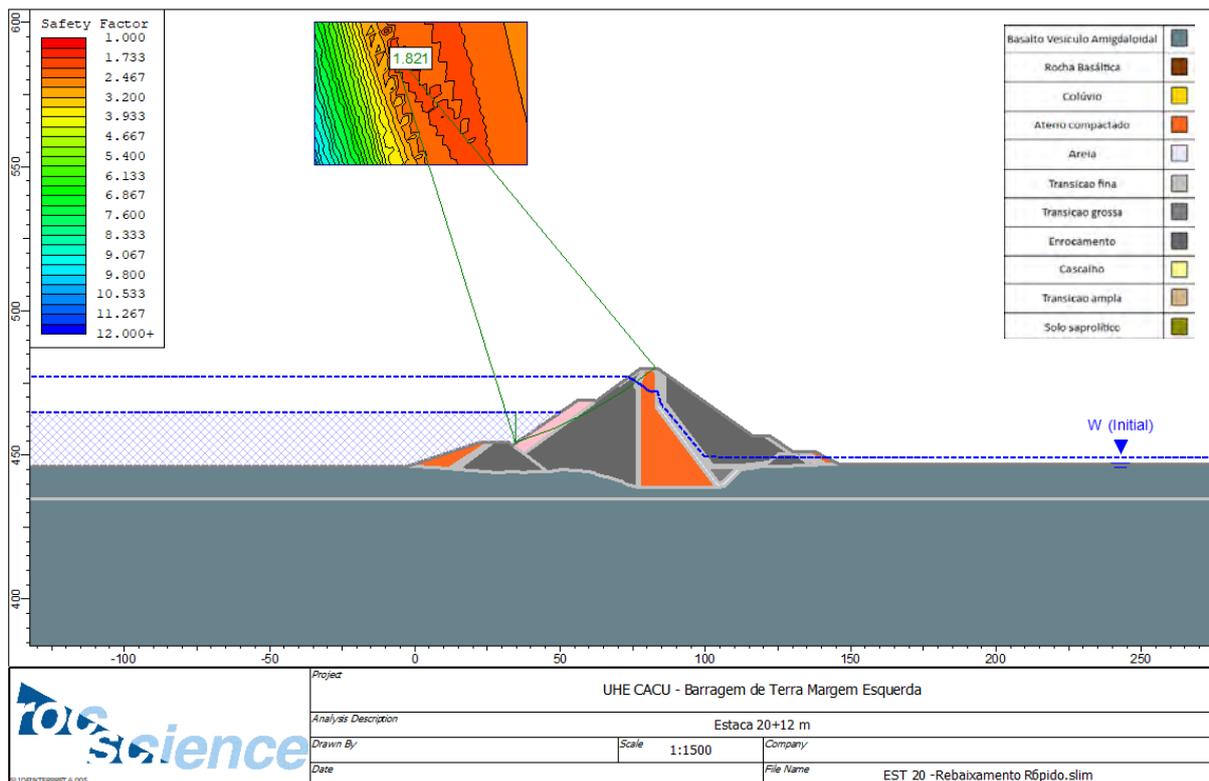


Figura 39. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na estaca 20+12,0 m.

3.2.1.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 16 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 20+12,0 m.

Tabela 16. Resumo das informações da Estaca 20+12,00.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante	Operação	1,671	1,637	1,699	1,704	1,500
Montante		6,208	5,550	6,220	6,230	1,500
Jusante	Operação - Com Sismos	1,291	1,290	1,316	1,328	1,100
Montante		4,254	3,876	4,284	4,287	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	1,821	1,834	1,821	1,824	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 20+12,0 m são superiores aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os

cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

3.2.2 Estaca 21+12,0 m

A geometria da seção da estaca 21+12,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 40.

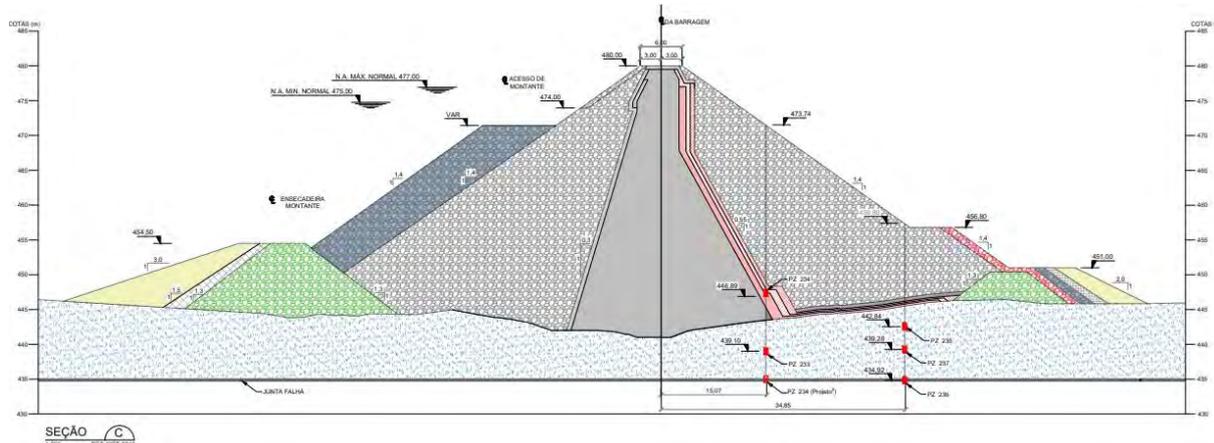


Figura 40. Seção da estaca 21+12,00 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço até a Est. 35+00 – Instrumentação – Seções (600-CAC-DES-ISBT-0012).

As informações dos instrumentos instalados na seção da Est. 21+12,0 m estão apresentadas na Tabela 17, onde também constam os valores das leituras realizadas em abril e maio de 2022.

Tabela 17. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 21+12,00.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]	Cota de Leitura [m-IBGE]	Cota de Leitura [m-IBGE]
			26/04/2022	10/05/2022
PZ – 232*	-	-	-	-
PZ – 233	439,10	472,92	451,47	451,43
PZ – 234**	446,89	472,92	451,64	451,60
PZ – 235	442,84	459,00	449,43	449,38
PZ – 236	434,92	459,00	449,63	449,62
PZ - 237	439,28	459,00	449,53	449,48

*Nota: PZ 232 não foi instalado.

**Nota: instrumento obstruído.

Segundo as leituras da última campanha de medições, os níveis piezométricos indicam que não há elevação da freática no espaldar de jusante, com comportamento adequado das subpressões no tapete e fundações. As cotas piezométricas indicam, ainda, comportamento de acordo com as linhas de fluxo apresentadas a seguir.

3.2.2.1 Rede de Fluxo na Condição de Operação Normal

Com base nas informações de projeto da UHE Caçu foi elaborado o modelo da Estaca 21+12,0 m na ferramenta computacional Slide v6.0, da Rocscience. A Figura 41 apresenta a interface do modelo numérico para permeabilidade com a malha de elementos finitos.

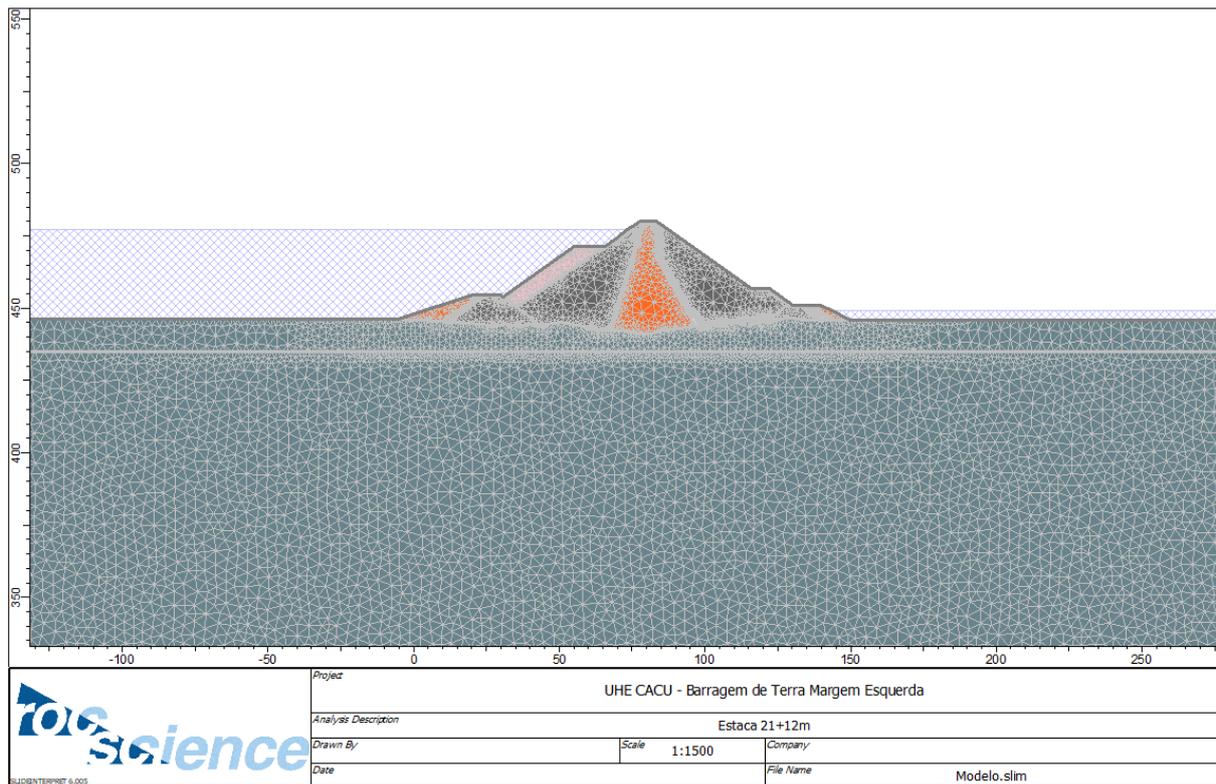


Figura 41. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 21+12,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório na elevação normal, estão representadas na Figura 42 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

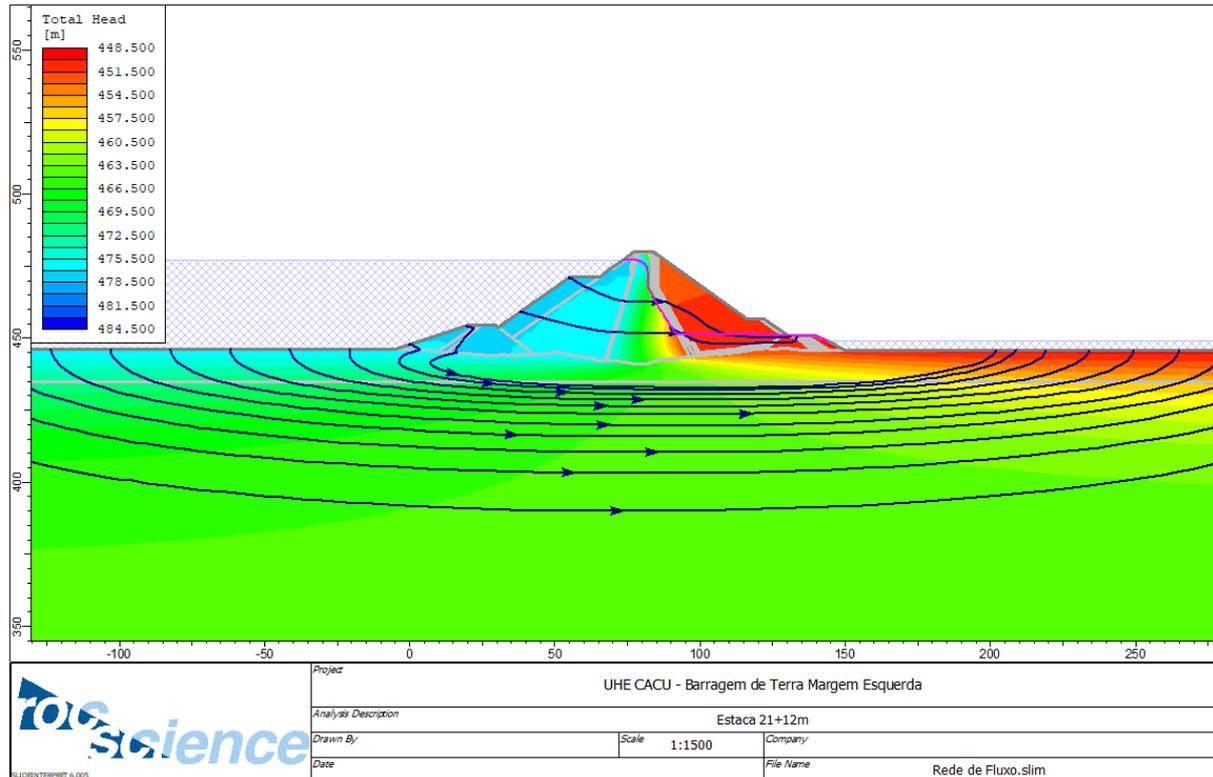


Figura 42. Rede de fluxo na Est. 21+12,0 m.

3.2.2.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 18.

A Figura 43 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 45 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 44 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 46 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

Para a estabilidade dos taludes de montante e de jusante foram calculadas as superfícies críticas que mobilizassem o material do núcleo e não somente parte superficial do enrocamento.

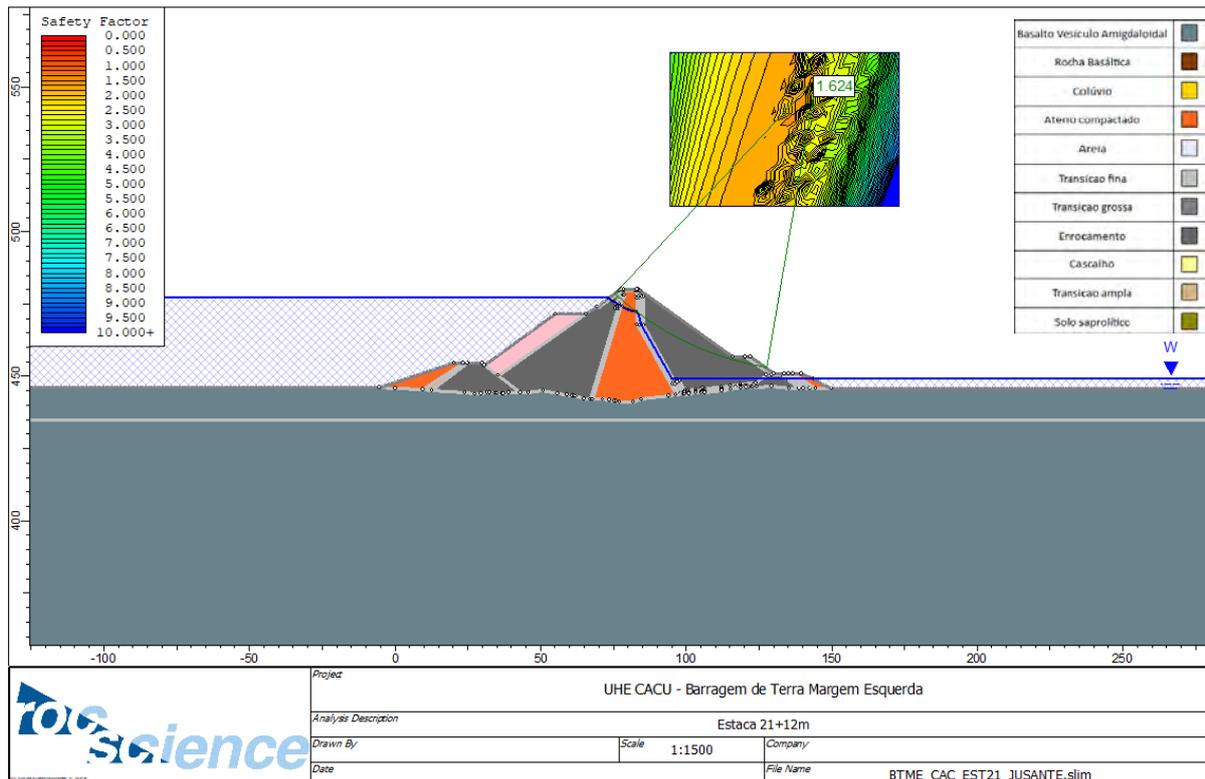


Figura 43. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 21+12,0 m.

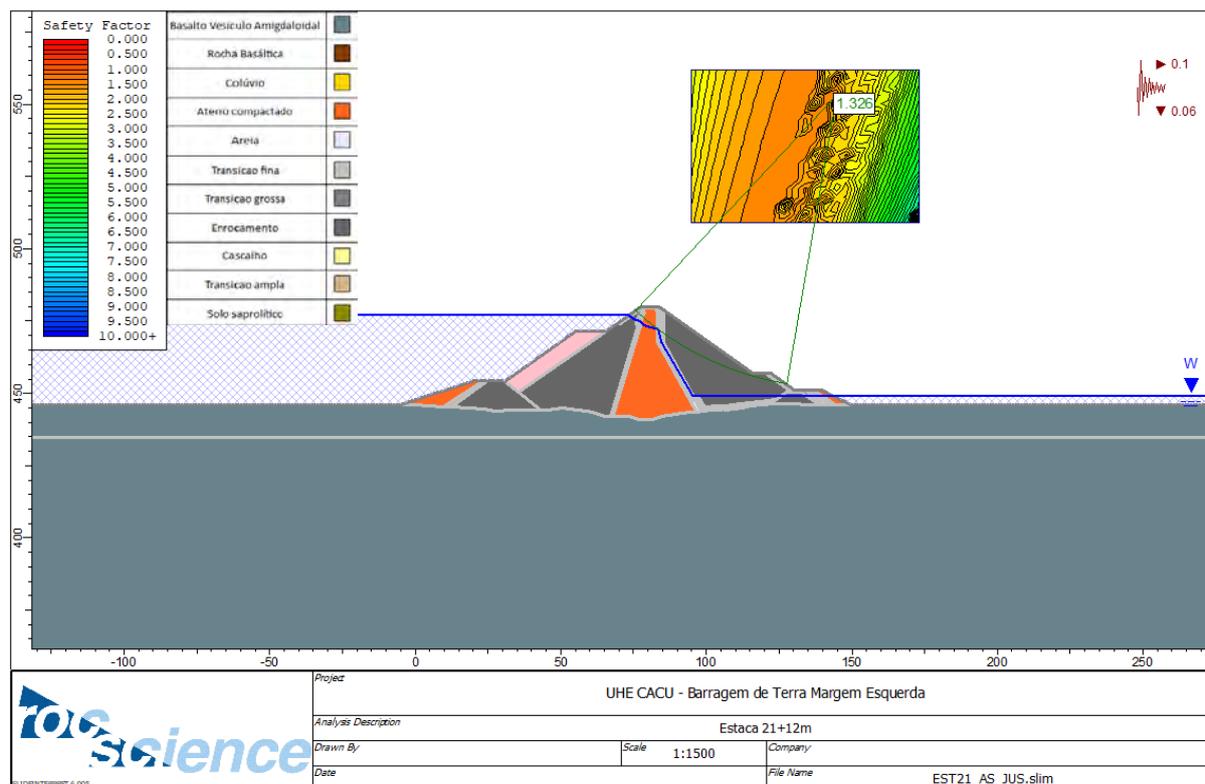


Figura 44. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 21+12,0 m.

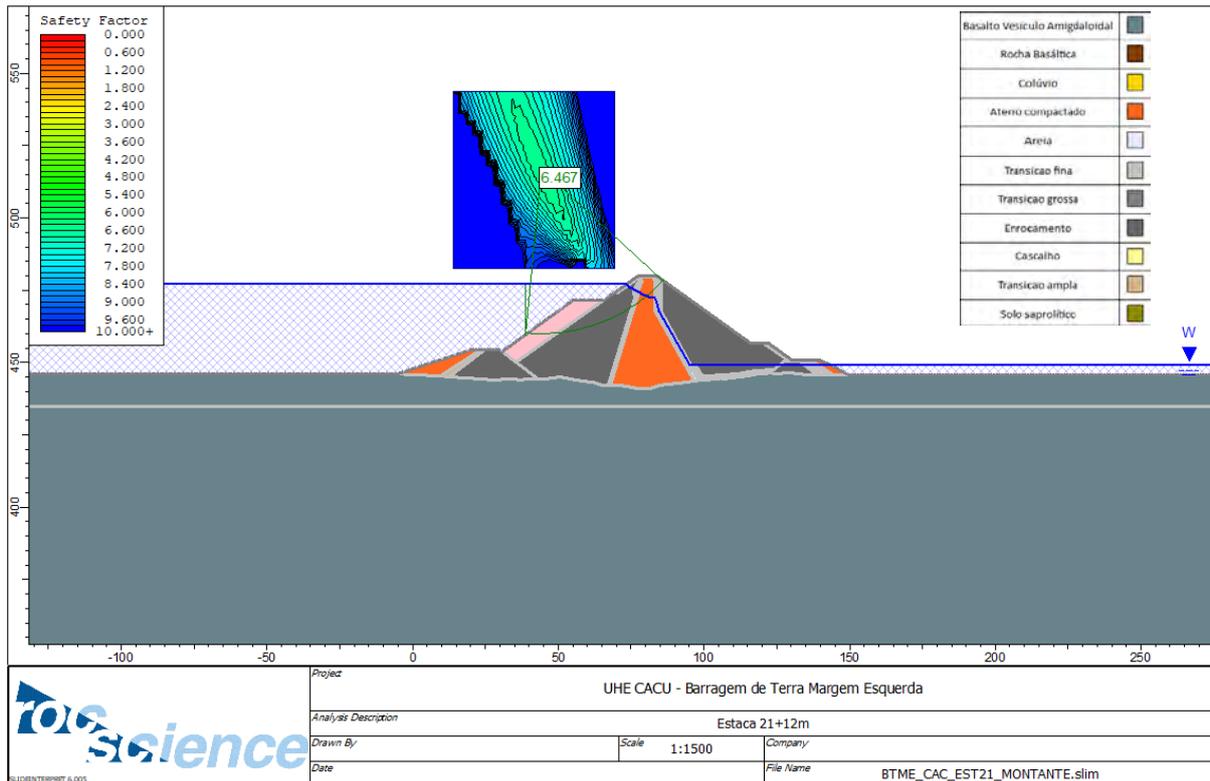


Figura 45. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 21+12,0 m.

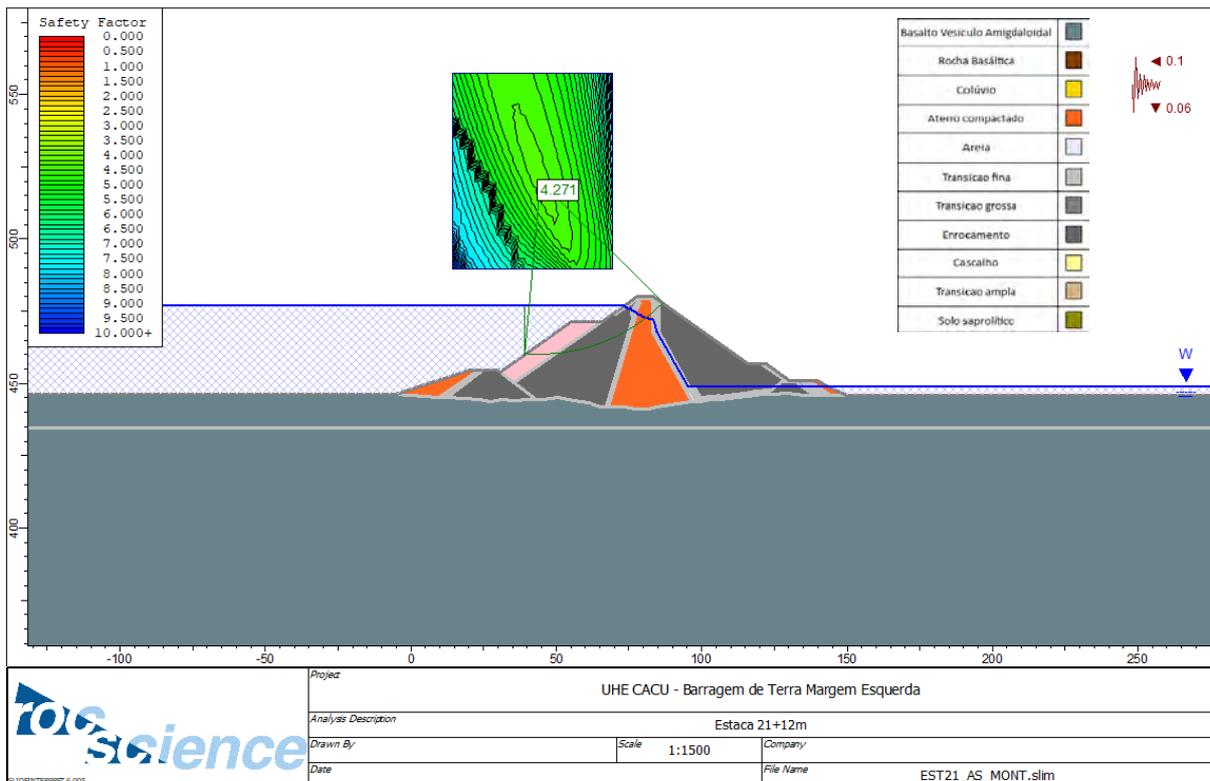


Figura 46. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 21+12,0 m.

3.2.2.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre as cotas 477,00 [m-IBGE] e 464,55 [m-IBGE], correspondente à elevação da crista do vertedouro. A Figura 47 apresenta a análise realizada.

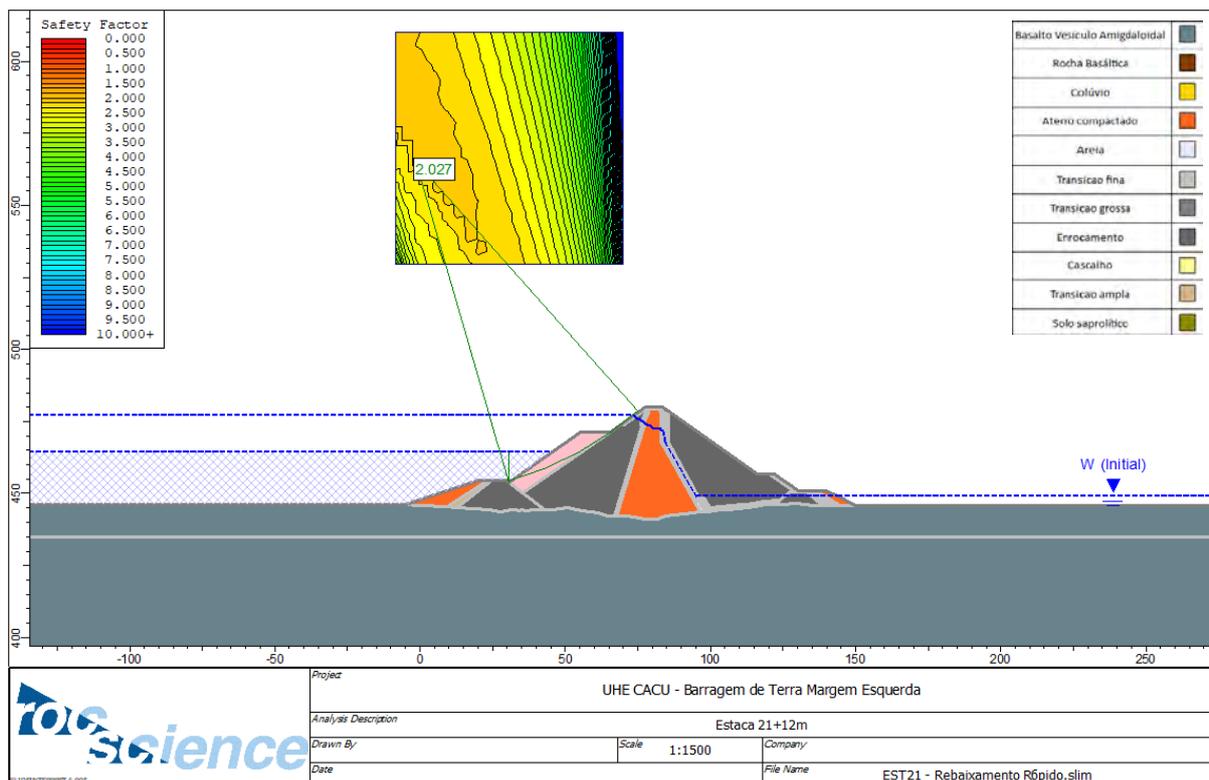


Figura 47. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na estaca 21+12,0 m.

3.2.2.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 18 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 21+12,0 m.

Tabela 18. Resumo das informações da Estaca 21+12,00.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante Montante	Operação	1,624	1,627	1,637	1,644	1,500
		6,467	5,888	6,494	6,502	1,500
Jusante Montante	Operação - Com Sismos	1,326	1,322	1,346	1,355	1,100
		4,271	3,969	4,310	4,311	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	2,027	2,038	2,027	2,027	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 20+12,0 m são superiores aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

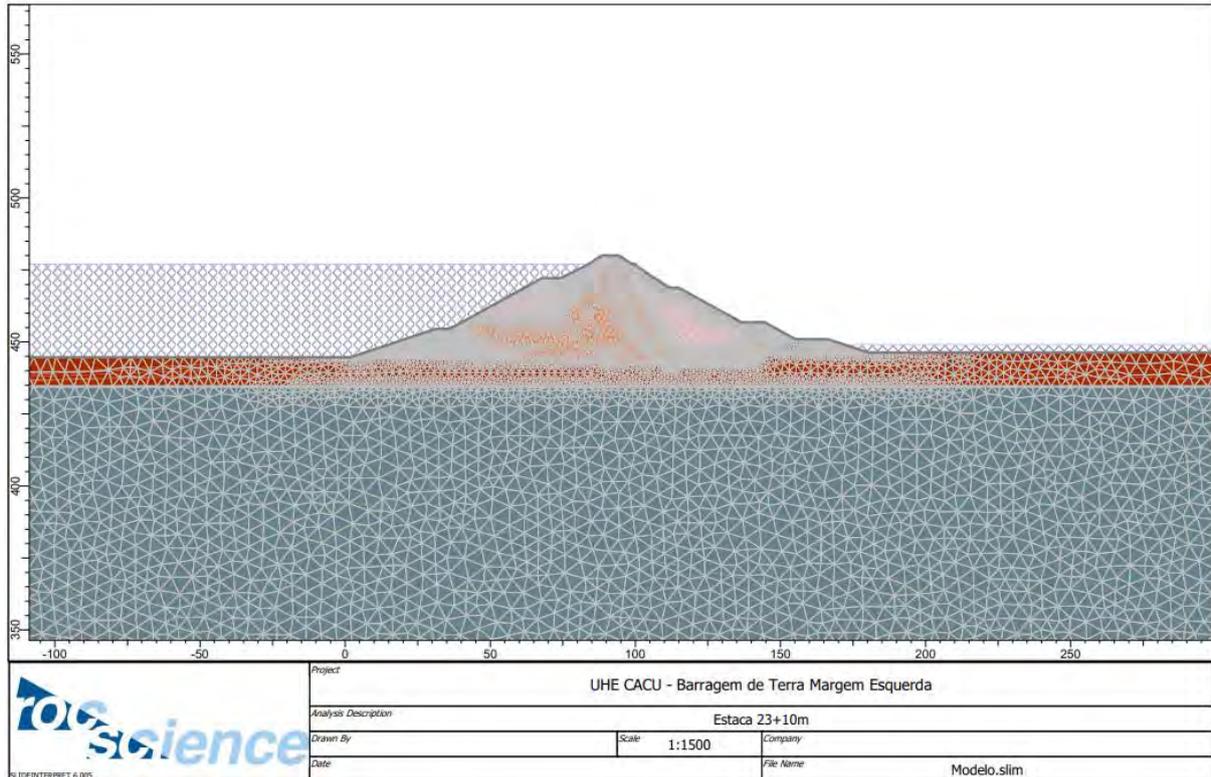


Figura 49. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 23+10,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório elevação normal, estão representadas na Figura 50 para a para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

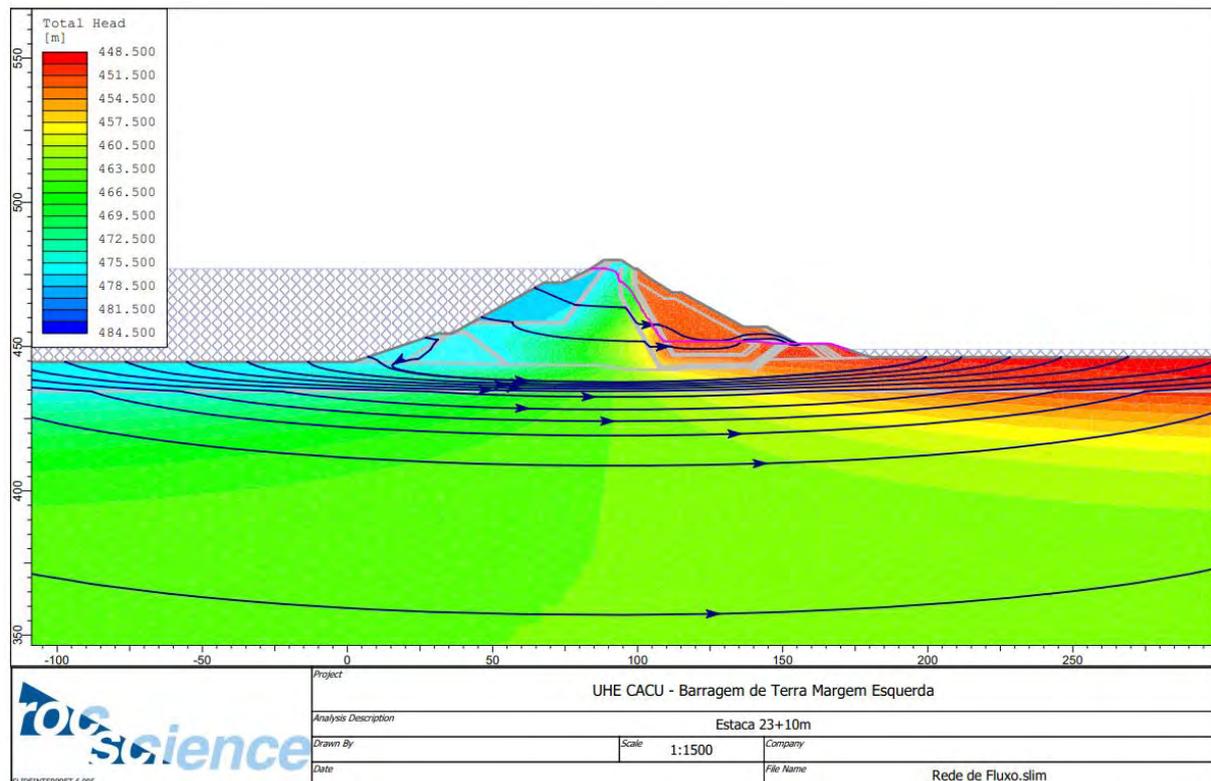


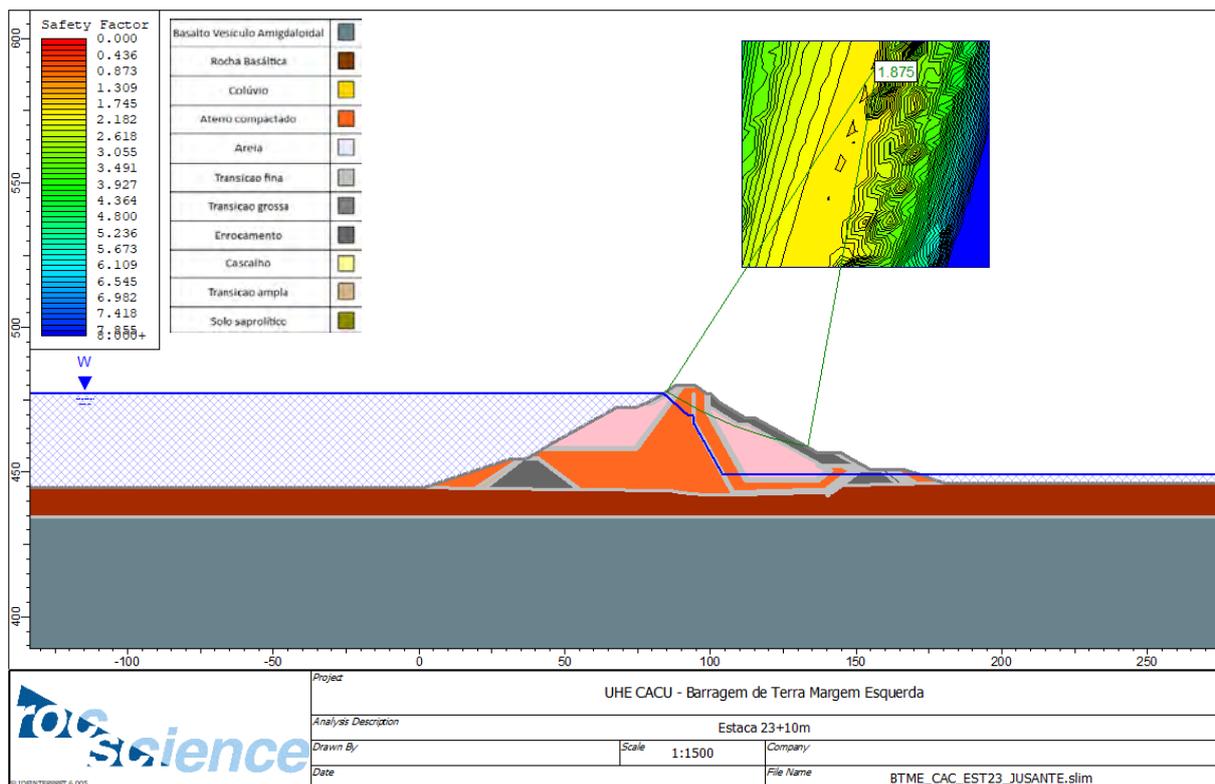
Figura 50. Rede de fluxo na Est. 23+10,0 m.

3.2.3.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 20.

A Figura 51 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 53 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 52 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 54 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.



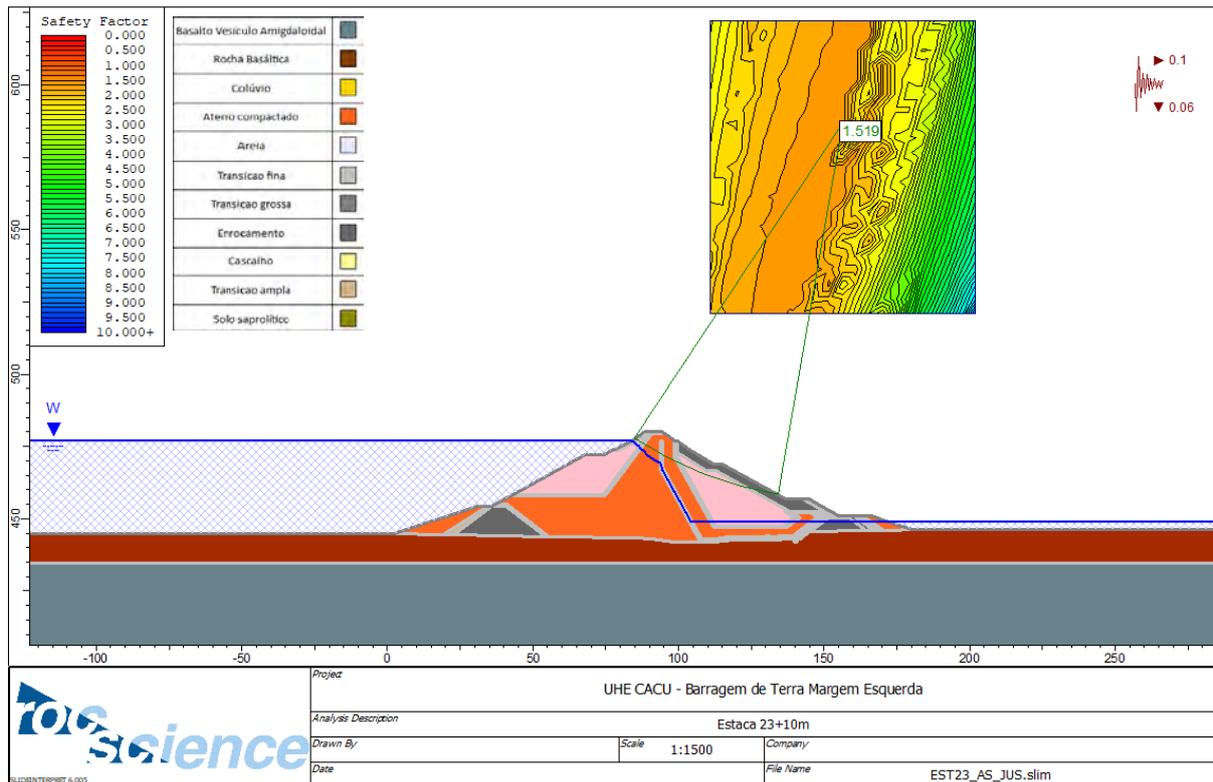


Figura 52. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 23+10,0 m.

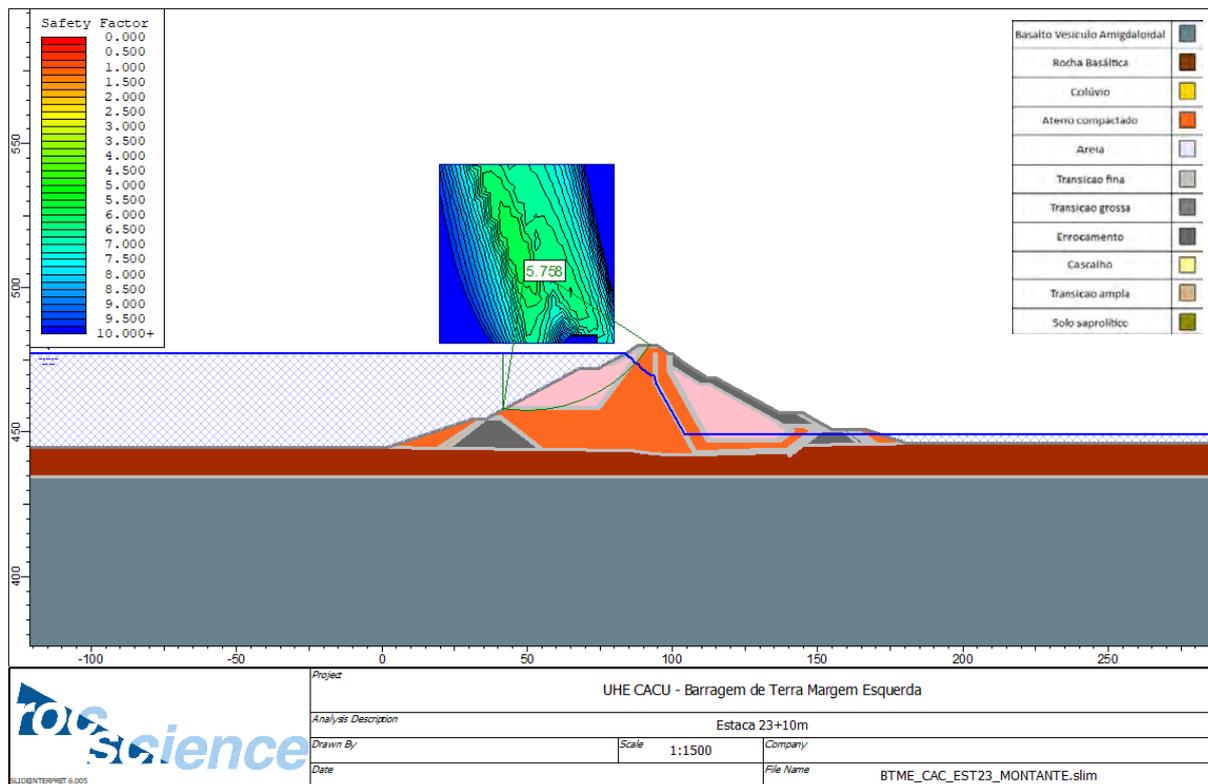


Figura 53. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 23+10,0 m.

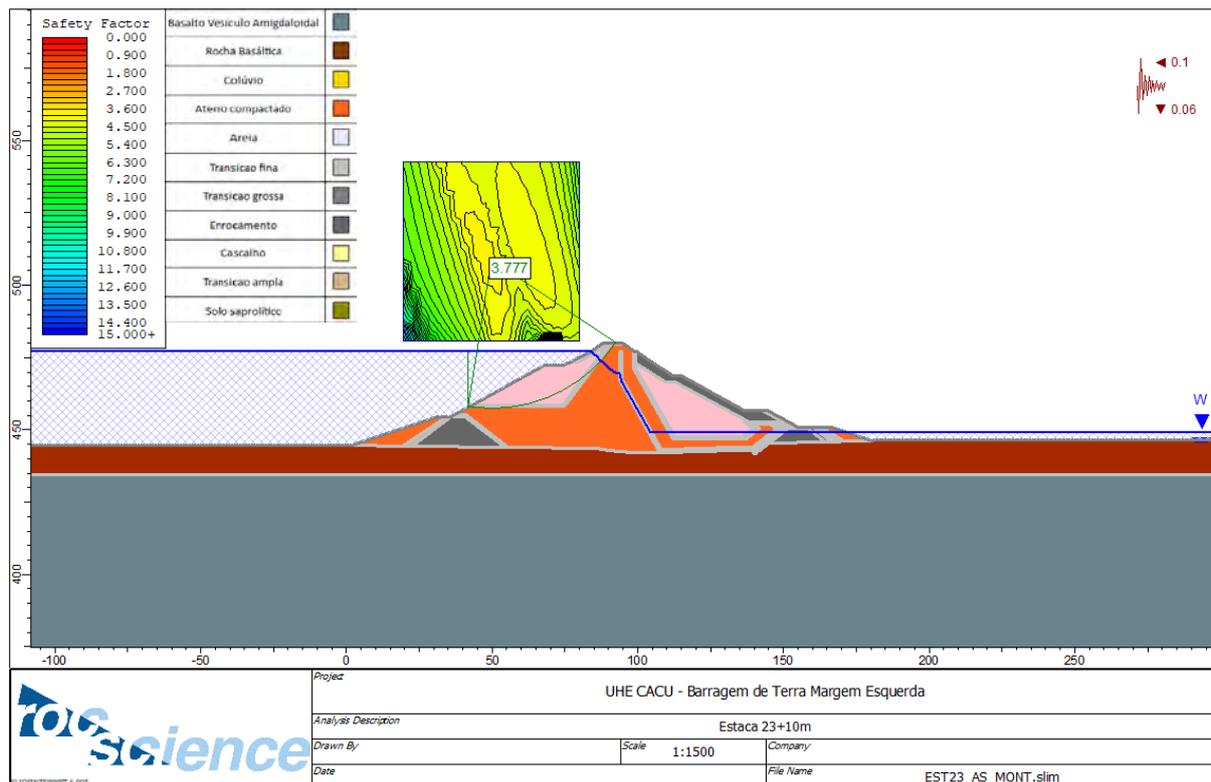


Figura 54. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 23+10,0 m.

3.2.3.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre as cotas 477,00 [m-IBGE] e 464,55 [m-IBGE], correspondente à elevação da crista do vertedouro. A Figura 55 apresenta a análise realizada.

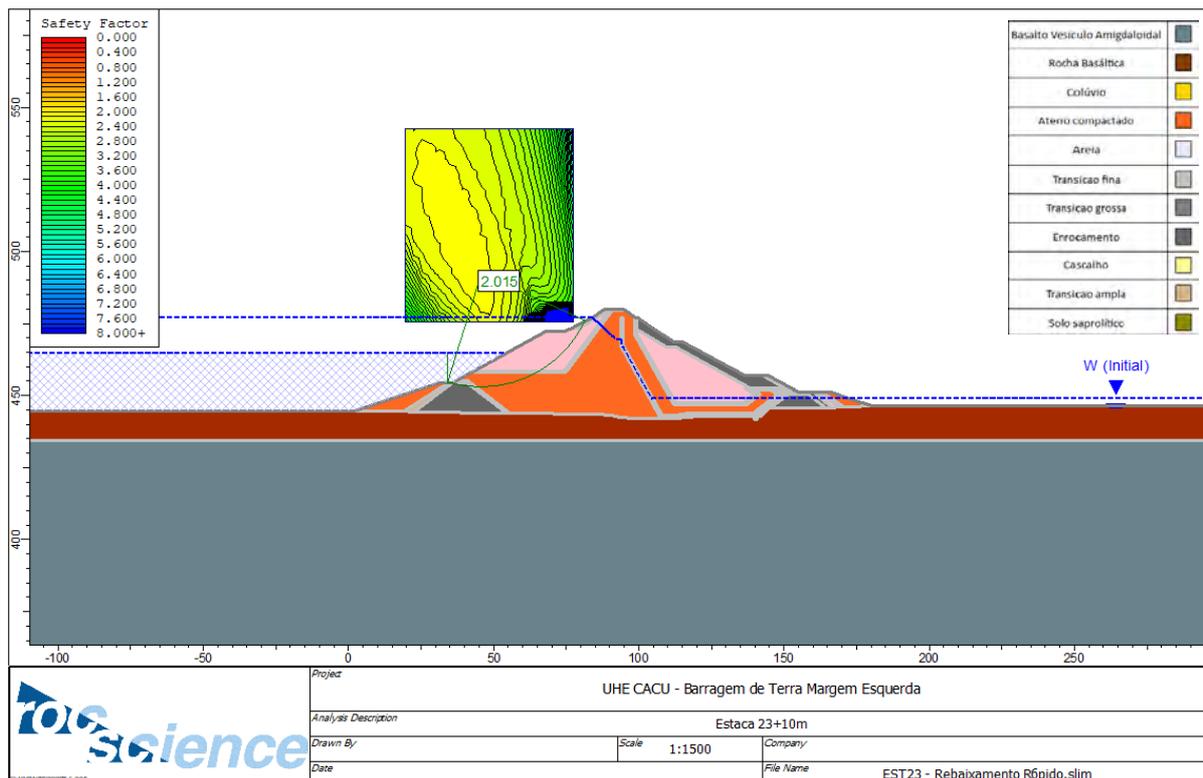


Figura 55. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na estaca 23+10,0 m.

3.2.3.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 20 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 23+10,0 m.

Tabela 20 – Resumo das informações da Estaca 23+10,00.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante	Operação	1,875	1,875	1,910	1,903	1,500
Montante		5,758	5,439	5,675	5,696	1,500
Jusante	Operação - Com Sismos	1,477	1,476	1,513	1,519	1,100
Montante		3,777	3,573	3,697	3,723	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	2,015	1,964	2,002	2,028	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 23+10,0 m atendem aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

3.2.4 Estaca 25+0,0 m

A geometria da seção da estaca 25+0,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 56.

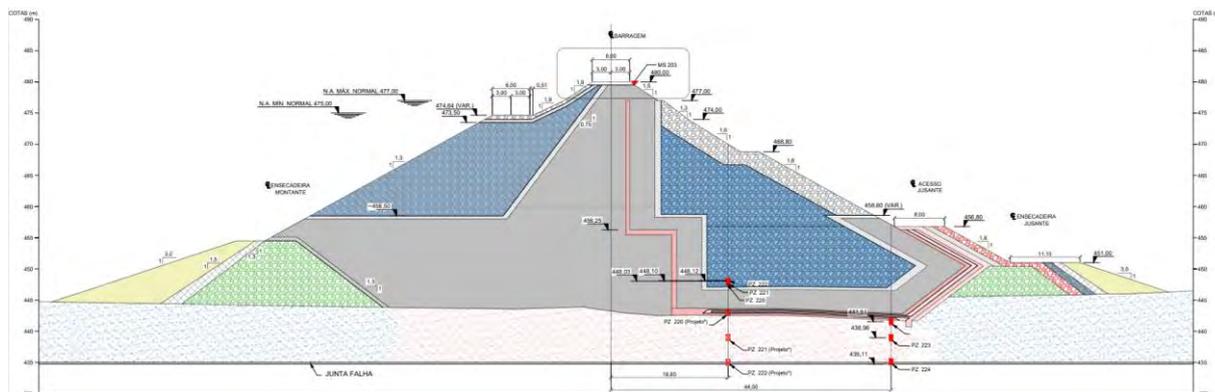


Figura 56. Seção da estaca 25 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço até EST. 35+0,00 – Instrumentação – Seções (600-CAC-DES-ISBT-0013).

As informações dos instrumentos instalados na seção da Est. 25+0,0 m estão apresentadas na Tabela 21, onde também constam os valores das leituras realizadas em abril e maio de 2022.

Tabela 21. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 25.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]	Cota de Leitura	Cota de Leitura
			[m-IBGE]	[m-IBGE]
			26/04/2022	10/05/2022
PZ – 220*	448,03	471,45	449,28	449,26
PZ – 221*	448,10	471,45	451,59	451,55
PZ – 222*	448,12	471,44	451,89	451,86
PZ – 223	438,96	459,10	449,53	449,48
PZ – 224	435,11	459,11	451,89	451,84
PZ – 225	441,51	459,11	449,32	449,27

*Nota: instrumentos danificados.

Segundo as leituras da última campanha de medições, os níveis piezométricos indicam um comportamento adequado, que varia conforme o nível d'água de jusante varia. As cotas piezométricas indicam, ainda, comportamento de acordo com as linhas de fluxo apresentadas a seguir.

3.2.4.1 Rede de Fluxo na Condição de Operação Normal

Com base nas informações de projeto da UHE Caçu foi elaborado o modelo da Estaca 25+0,0 m na ferramenta computacional Slide v6.0, da Rocscience. A Figura 57 apresenta a interface do modelo numérico para permeabilidade com a malha de elementos finitos.

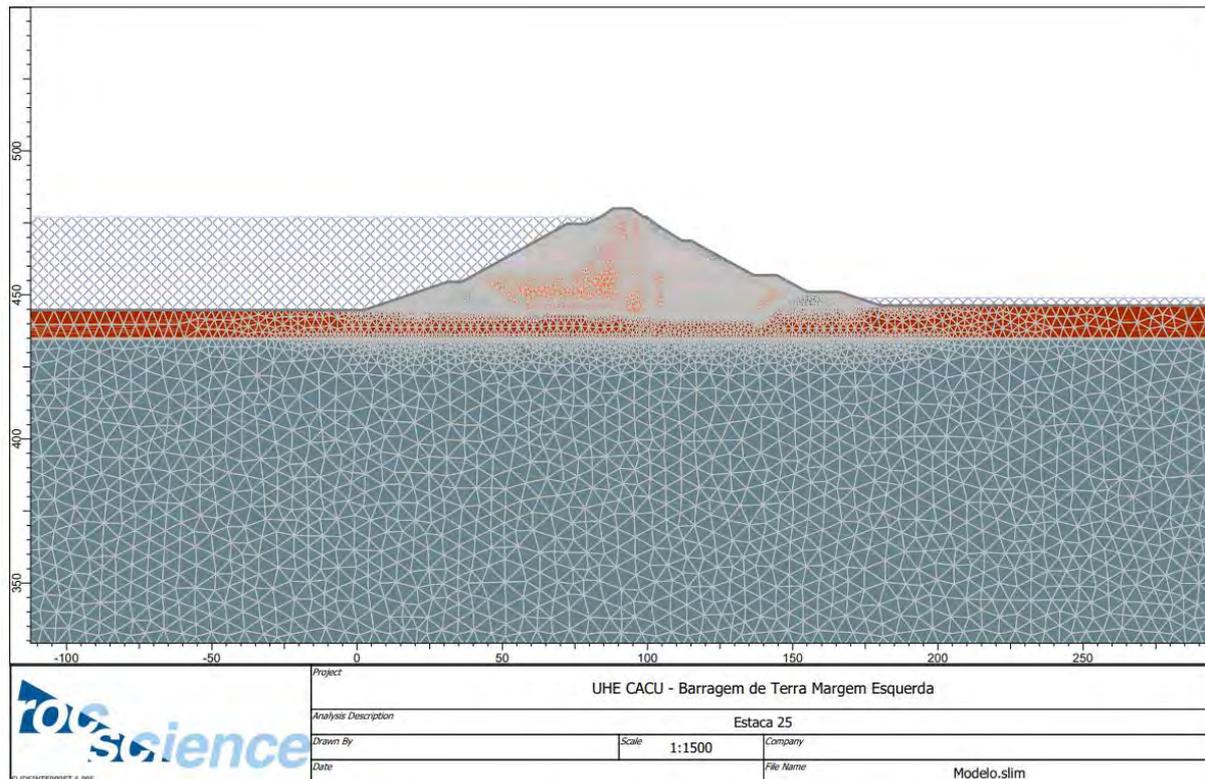


Figura 57. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 25+0,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório elevação normal, estão representadas na Figura 58 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

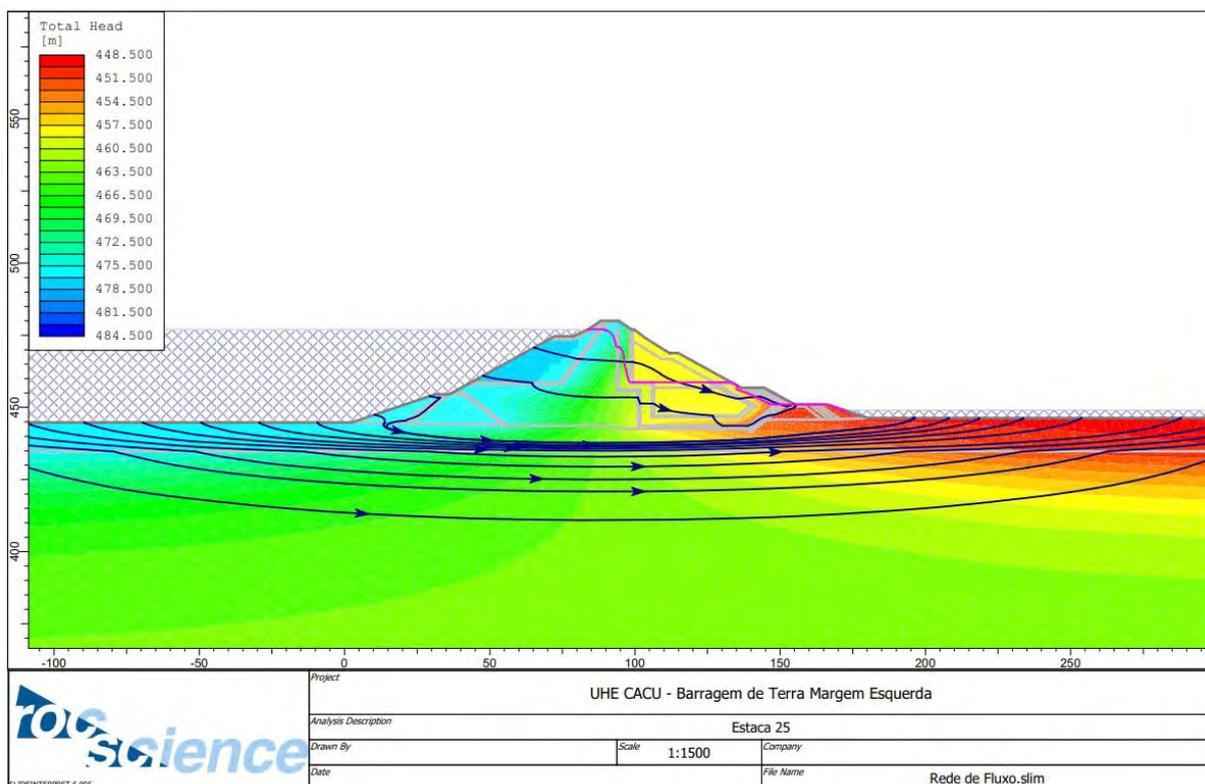


Figura 58. Rede de fluxo na Est. 25+0,0 m.

3.2.4.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 22.

A Figura 59 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 61 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 60 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 62 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

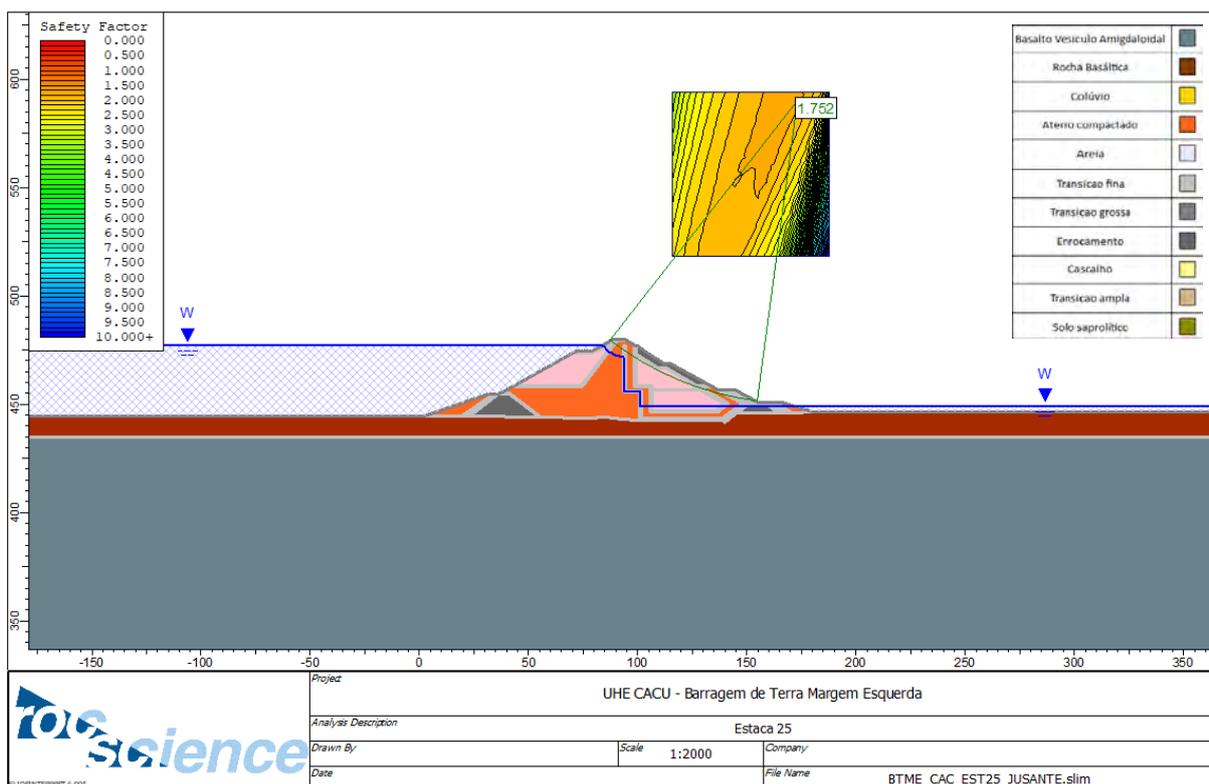


Figura 59. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 25+0,0 m.

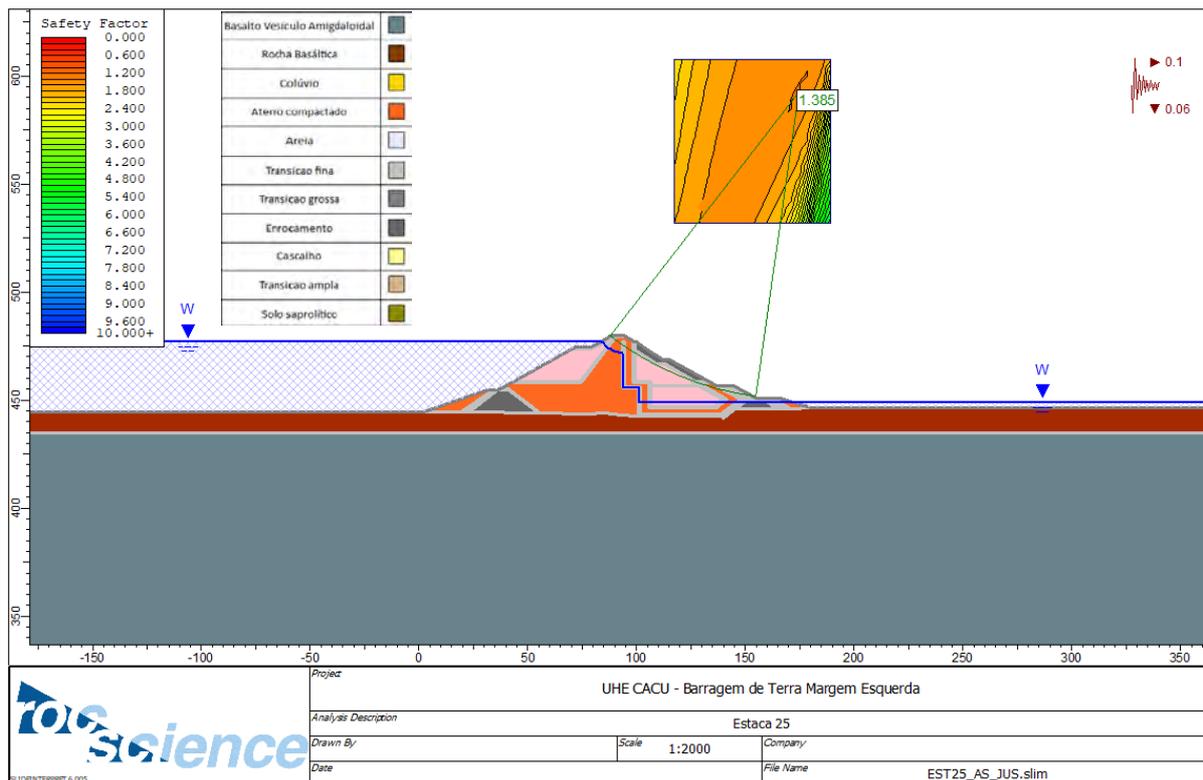


Figura 60. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 25+0,0 m.

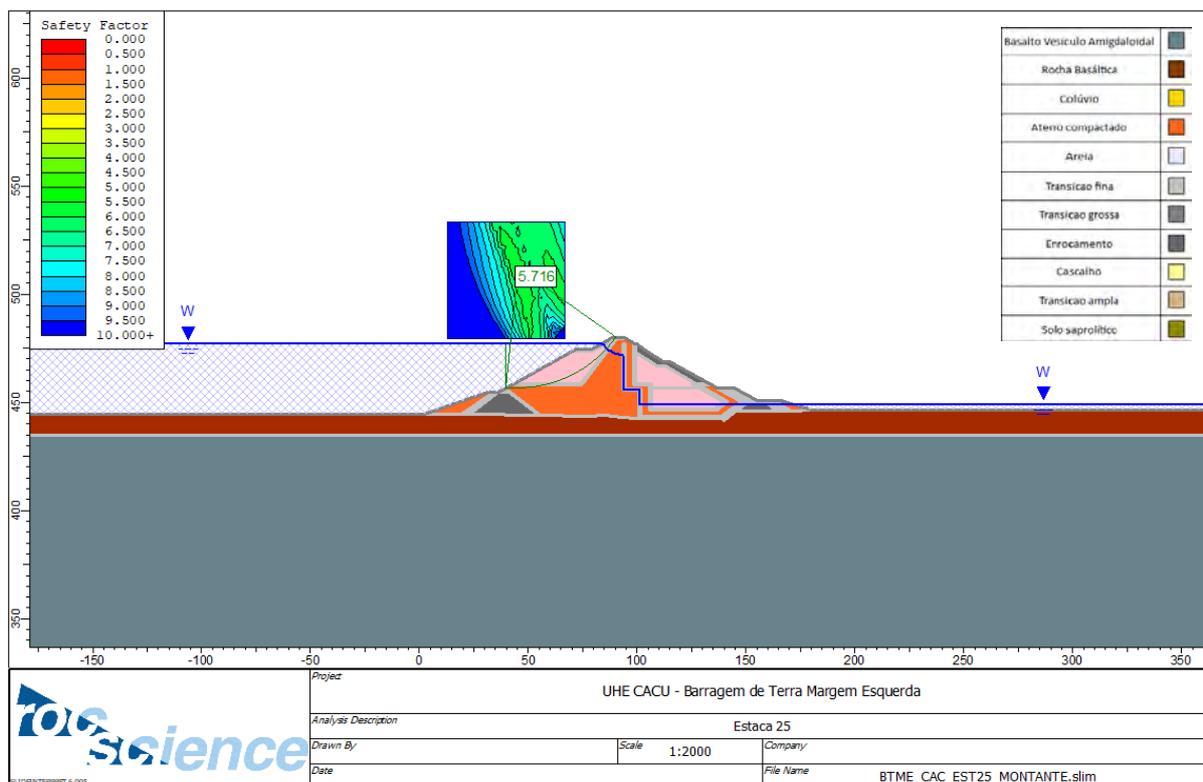


Figura 61. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 25+0,0 m.

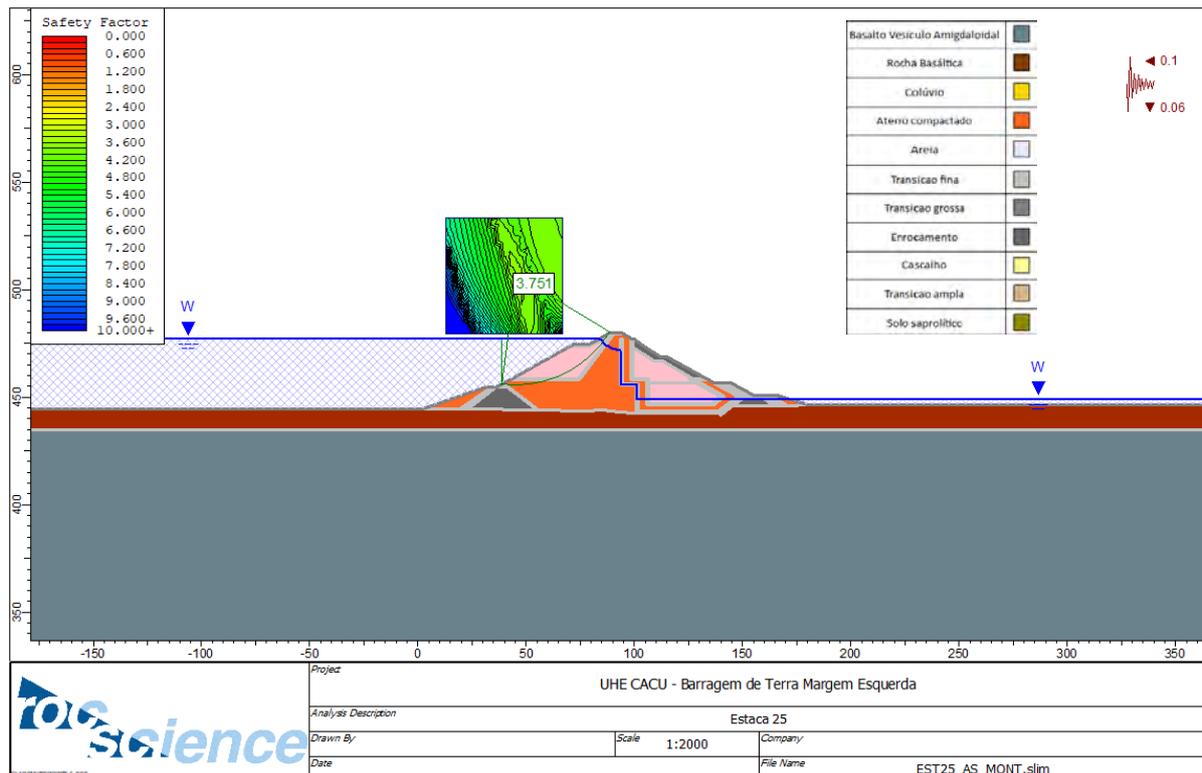


Figura 62. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 25+0,0 m.

3.2.4.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre as cotas 477,00 [m-IBGE] e 464,55 [m-IBGE], correspondente à elevação da crista do vertedouro. A Figura 63 apresenta a análise realizada.

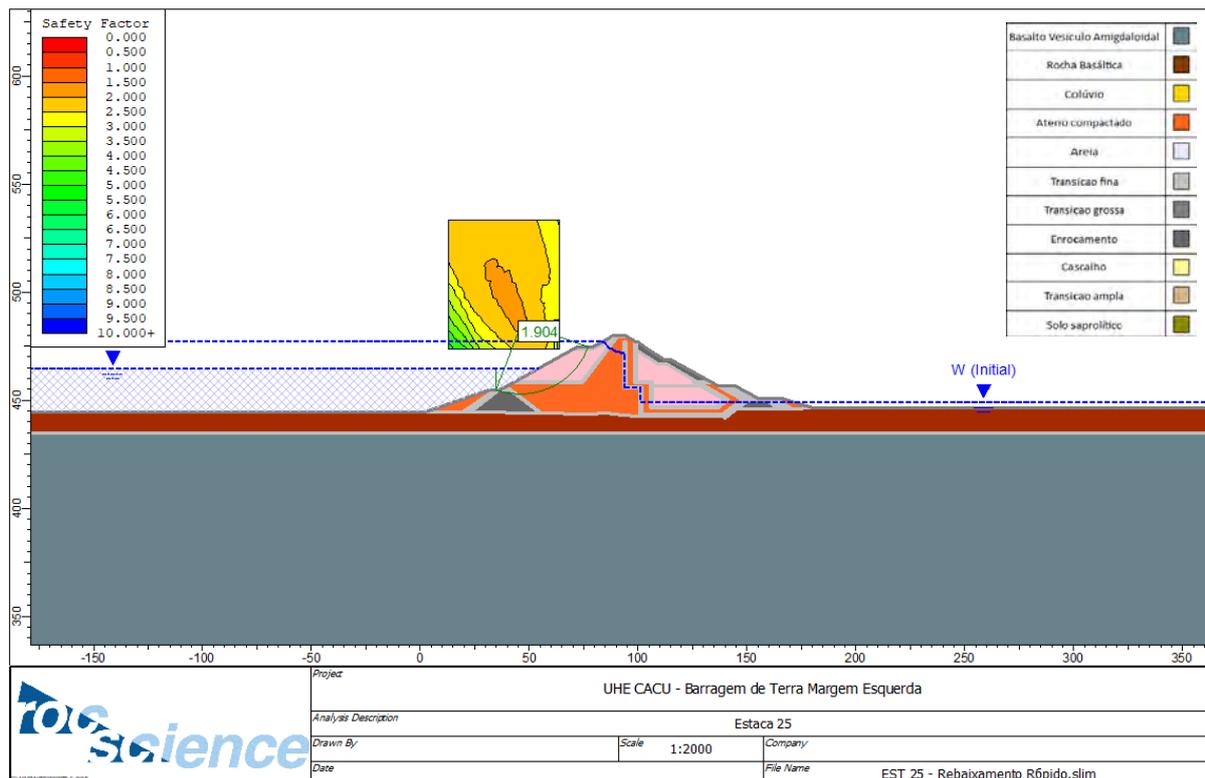


Figura 63. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na estaca 25+0,0 m.

3.2.4.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 22 apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 25+0,0 m.

Tabela 22 – Resumo das informações da Estaca 25.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante	Operação	1,752	1,767	1,747	1,760	1,500
Montante		5,716	5,286	5,613	5,636	1,500
Jusante	Operação - Com Sismos	1,385	1,396	1,381	1,393	1,100
Montante		3,751	3,503	3,653	3,673	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	1,904	1,803	1,906	1,929	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 25+0,0 m atendem aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

3.2.5 Estaca 30+0,0 m

A geometria da seção da estaca 30+0,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 64.

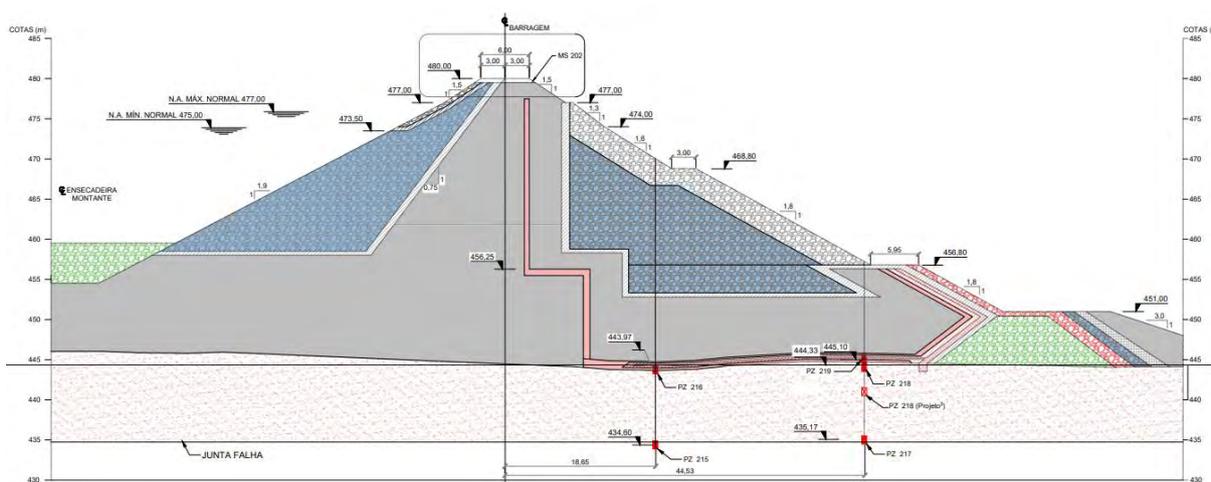


Figura 64. Seção da estaca 30 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço até EST. 35+0,00 – Instrumentação – Seções (600-CAC-DES-ISBT-0013).

As informações dos instrumentos instalados na seção da Est. 30+0,0 m estão apresentadas na Tabela 23, onde também constam os valores das leituras realizadas em abril e maio de 2022.

Tabela 23 – Informações dos instrumentos instalados na Estaca 30.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]	Cota de Leitura [m-IBGE]	Cota de Leitura [m-IBGE]
			26/04/2022	10/05/2022
PZ – 215	434,60	471,49	456,33	456,32
PZ – 216	443,97	471,49	453,65	453,61
PZ – 217	435,17	458,49	452,76	452,74
PZ – 218	444,33	458,49	452,47	452,43
PZ – 219	445,10	458,49	451,44	451,40

Segundo as leituras da última campanha de medições, os níveis piezométricos indicam que não há elevação da freática no espaldar de jusante, com comportamento adequado das subpressões no tapete e fundações. As cotas piezométricas indicam, ainda, comportamento de acordo com as linhas de fluxo apresentadas a seguir.

3.2.5.1 Rede de Fluxo na Condição de Operação Normal

Com base nas informações de projeto da UHE Caçu foi elaborado o modelo da Estaca 30+0,0 m na ferramenta computacional Slide v6.0, da Rocscience. A Figura 65 apresenta a interface do modelo numérico para permeabilidade com a malha de elementos finitos.

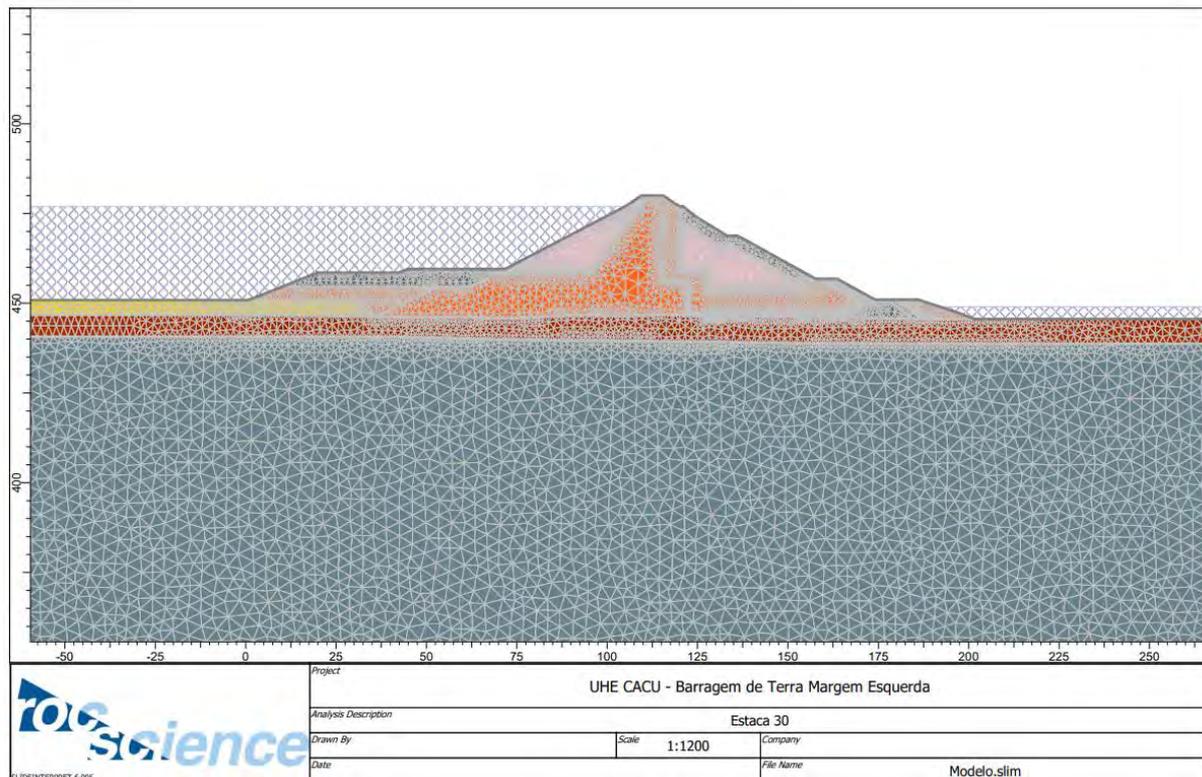


Figura 65. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 30+0,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório elevação normal, estão representadas na Figura 66 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

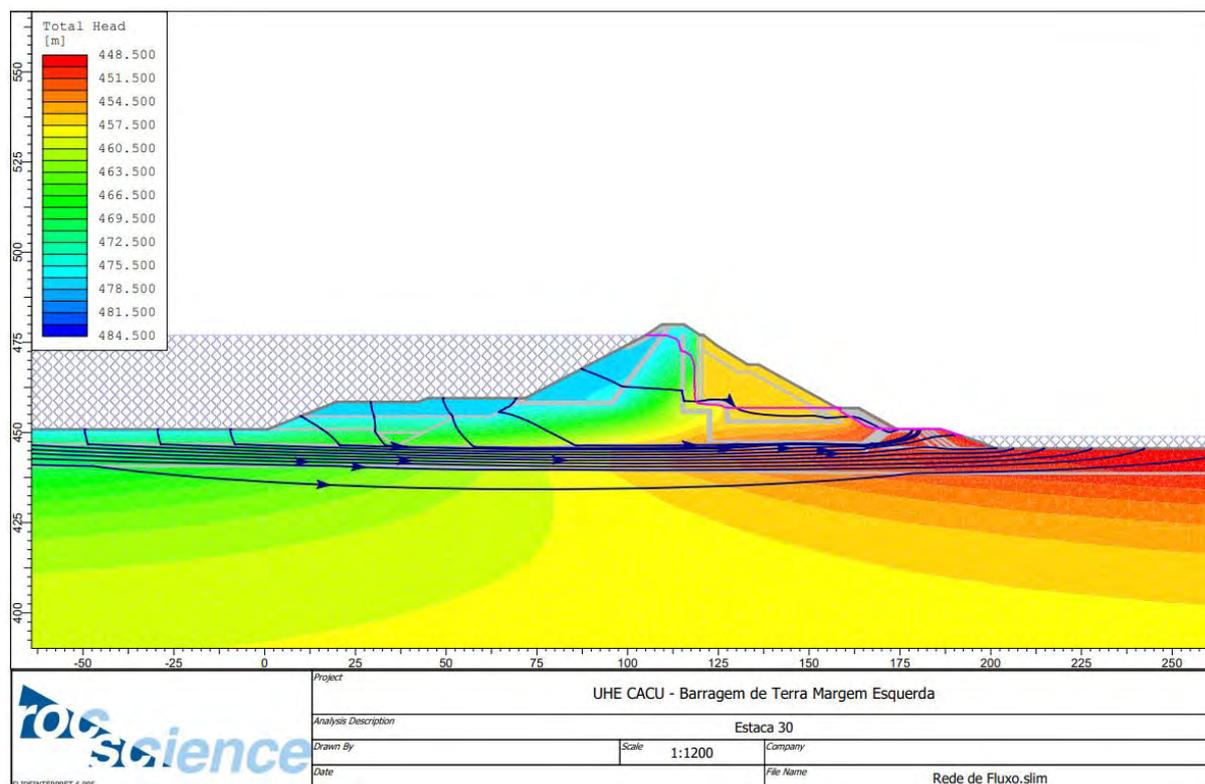


Figura 66. Rede de fluxo na Est. 30+0,0 m.

3.2.5.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 24.

A Figura 67 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 69 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 68 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 70 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

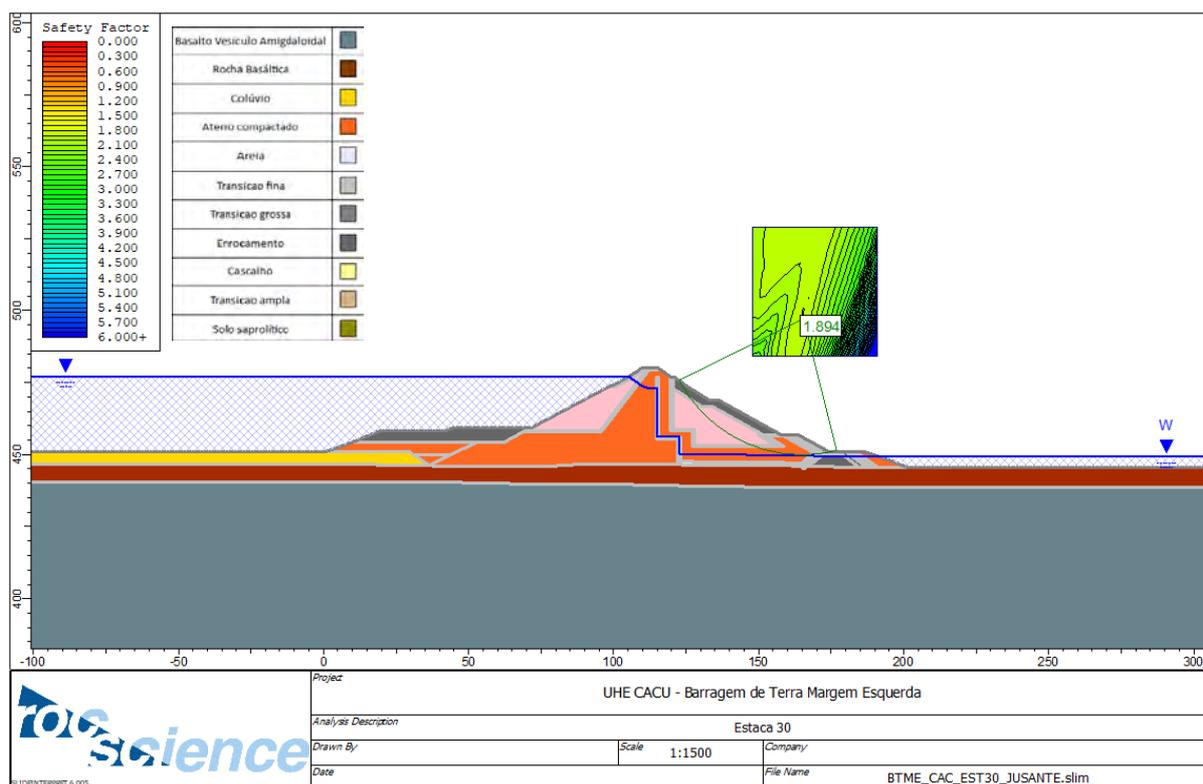


Figura 67. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 30+0,0 m.

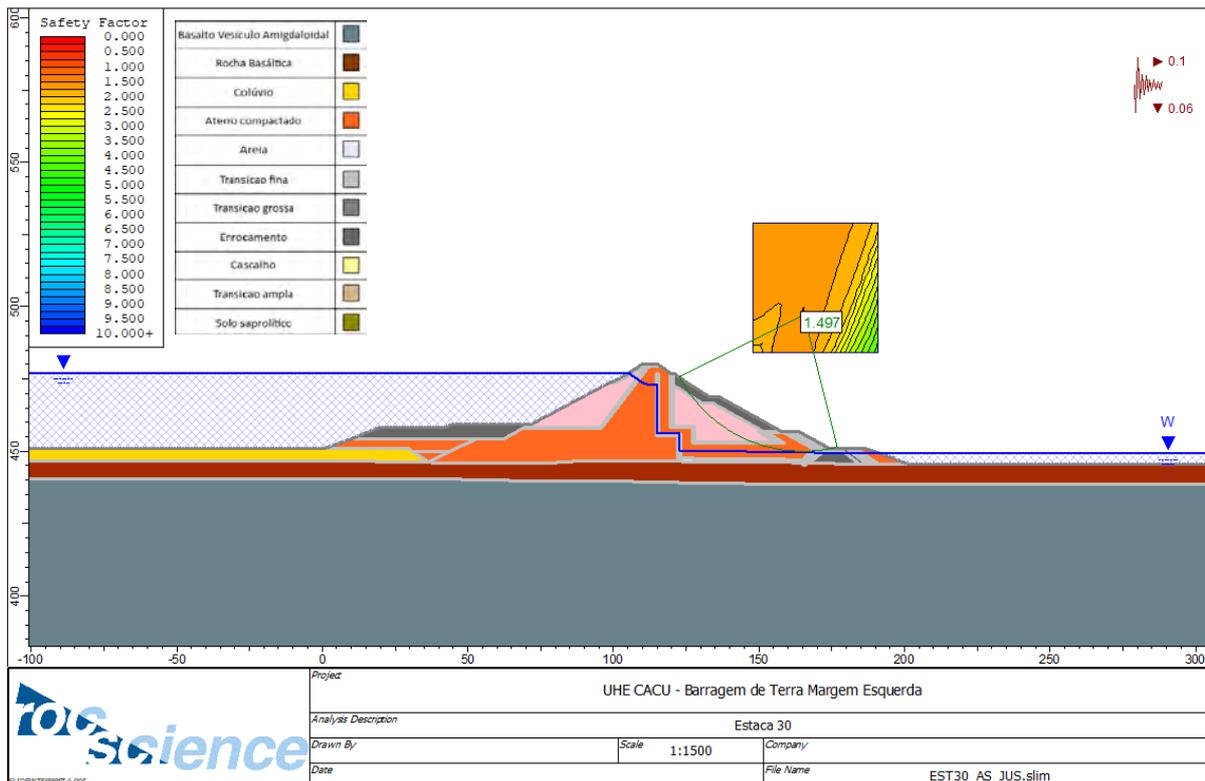


Figura 68. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 30+0,0 m.

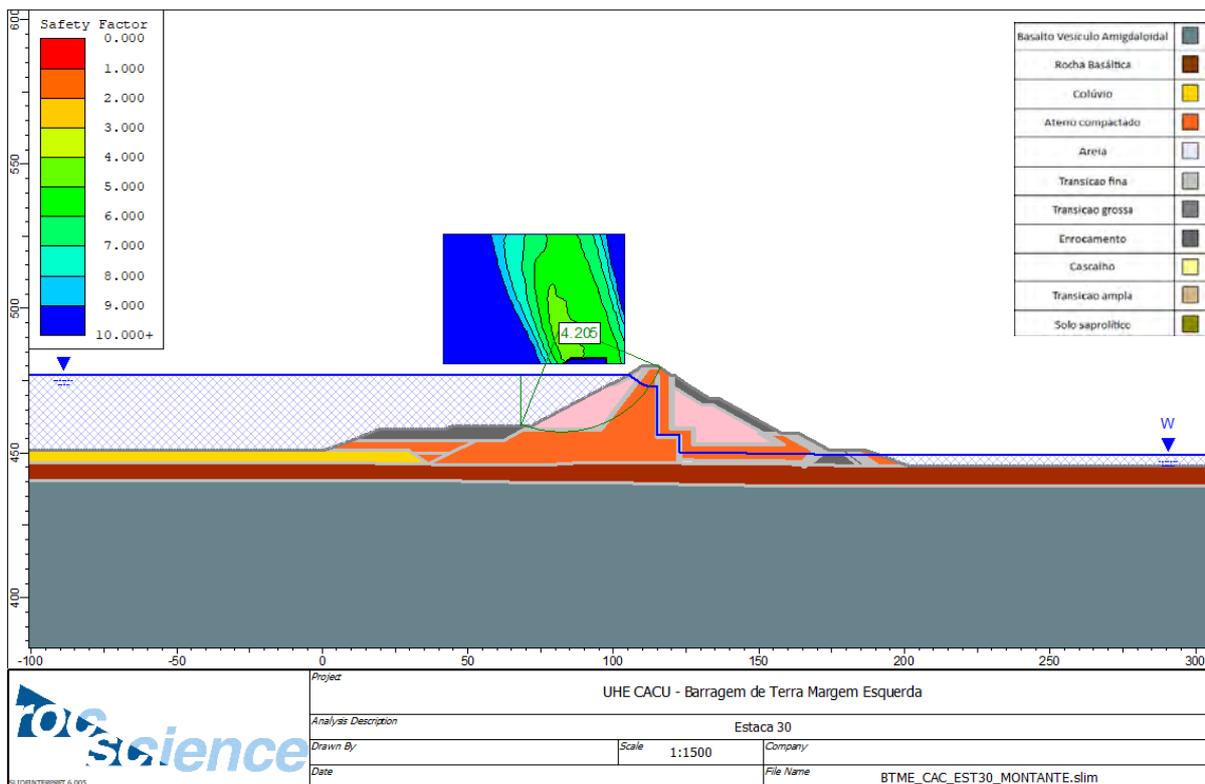


Figura 69. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 30+0,0 m.

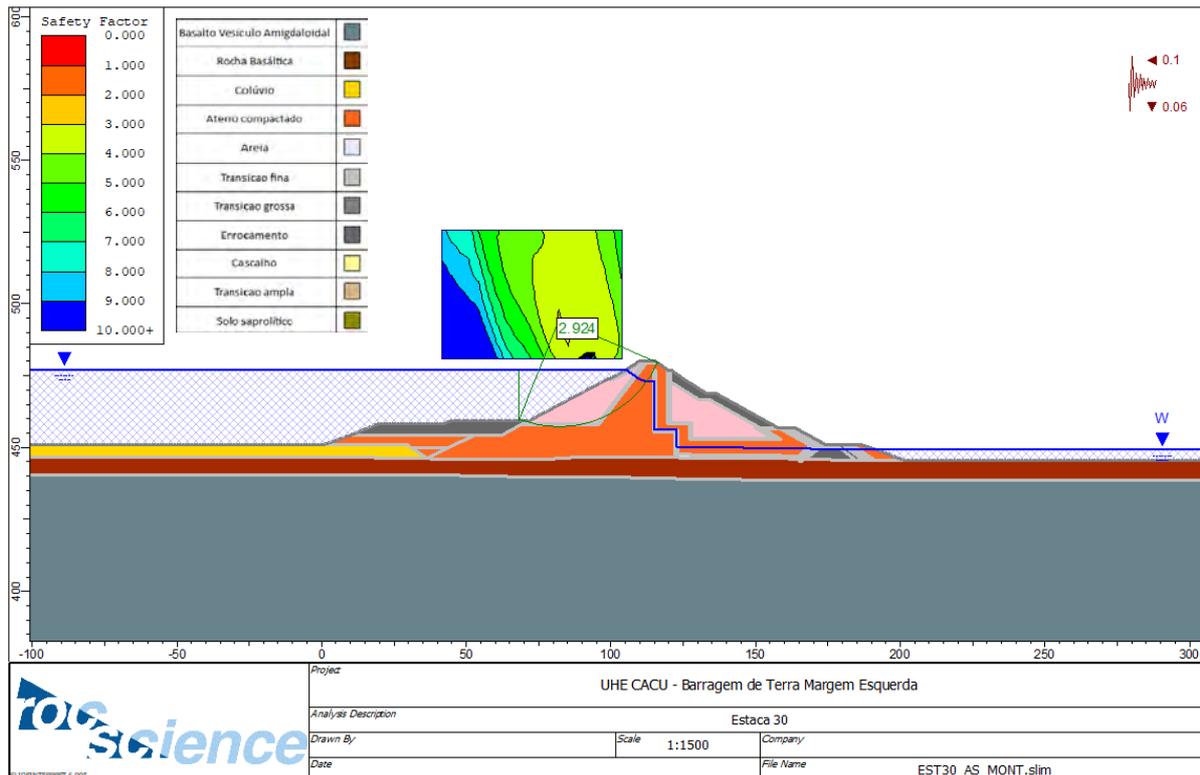


Figura 70. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 30+0,0 m.

3.2.5.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre as cotas 477,00 [m-IBGE] e 464,55 [m-IBGE], correspondente à elevação da crista do vertedouro. A Figura 71 apresenta a análise realizada.

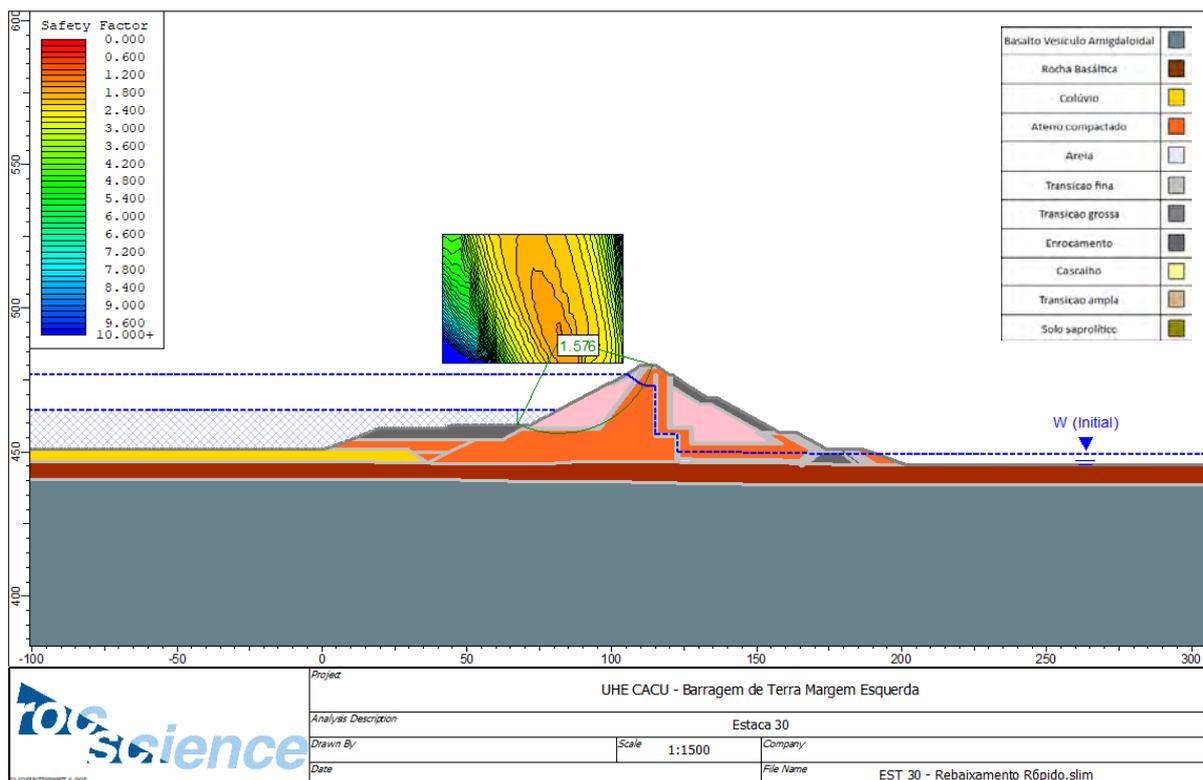


Figura 71 – Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na estaca 30+0,0 m.

3.2.5.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 24 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 30+0,0 m.

Tabela 24 – Resumo das informações da Estaca 30.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante	Operação	1,894	1,857	1,843	1,859	1,500
Montante		4,205	3,626	4,182	4,206	1,500
Jusante	Operação - Com Sismos	1,497	1,452	1,453	1,471	1,100
Montante		2,924	2,547	2,910	2,938	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	1,576	1,455	1,572	1,594	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 30+0,0 m atendem aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

3.2.6 Estaca 33+10,0 m

A geometria da seção da estaca 33+10,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 72.

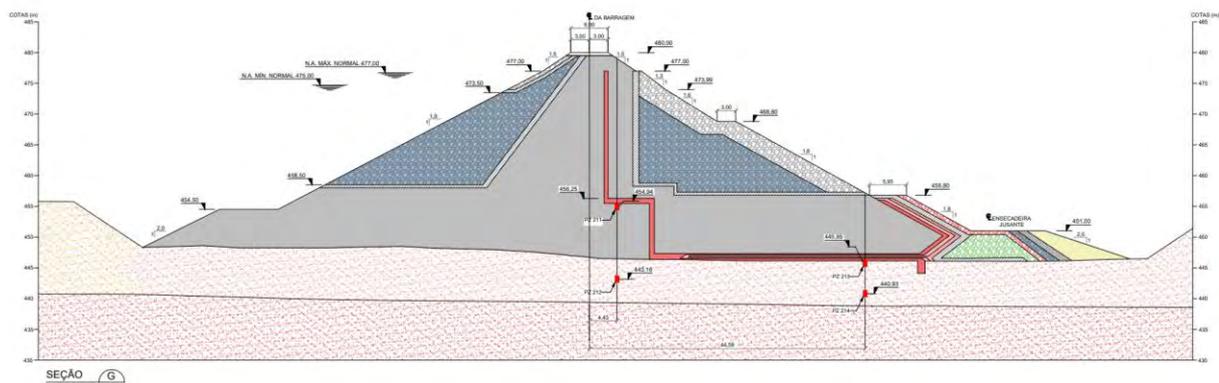


Figura 72. Seção da estaca 33+10 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço até EST. 35+0,00 – Instrumentação – Seções (600-CAC-DES-ISBT-0014).

As informações dos instrumentos instalados na seção da Est. 33+10,0 m estão apresentadas na Tabela 25, onde também constam os valores das leituras realizadas em abril e maio de 2022.

Tabela 25 – Informações dos instrumentos instalados na Estaca 33+10.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]	Cota de Leitura [m-IBGE]	Cota de Leitura [m-IBGE]
			26/04/2022	10/05/2022
PZ – 211	454,94	480,19	458,35	458,36
PZ – 212	443,16	480,2	456,72	456,71
PZ – 213	445,85	459,28	449,91	449,87
PZ – 214	440,93	459,28	450,06	450,01

Segundo as leituras da última campanha de medições, os níveis piezométricos indicam que não há elevação da freática no espaldar de jusante, com comportamento adequado das subpressões no tapete e fundações. As cotas piezométricas indicam, ainda, comportamento de acordo com as linhas de fluxo apresentadas a seguir.

3.2.6.1 Rede de Fluxo na Condição de Operação

Com base nas informações de projeto da UHE Caçu foi elaborado o modelo da Estaca 33+10 na ferramenta computacional Slide v6.0, da Rocscience. A Figura 73 apresenta a interface do modelo numérico para permeabilidade com a malha de elementos finitos.

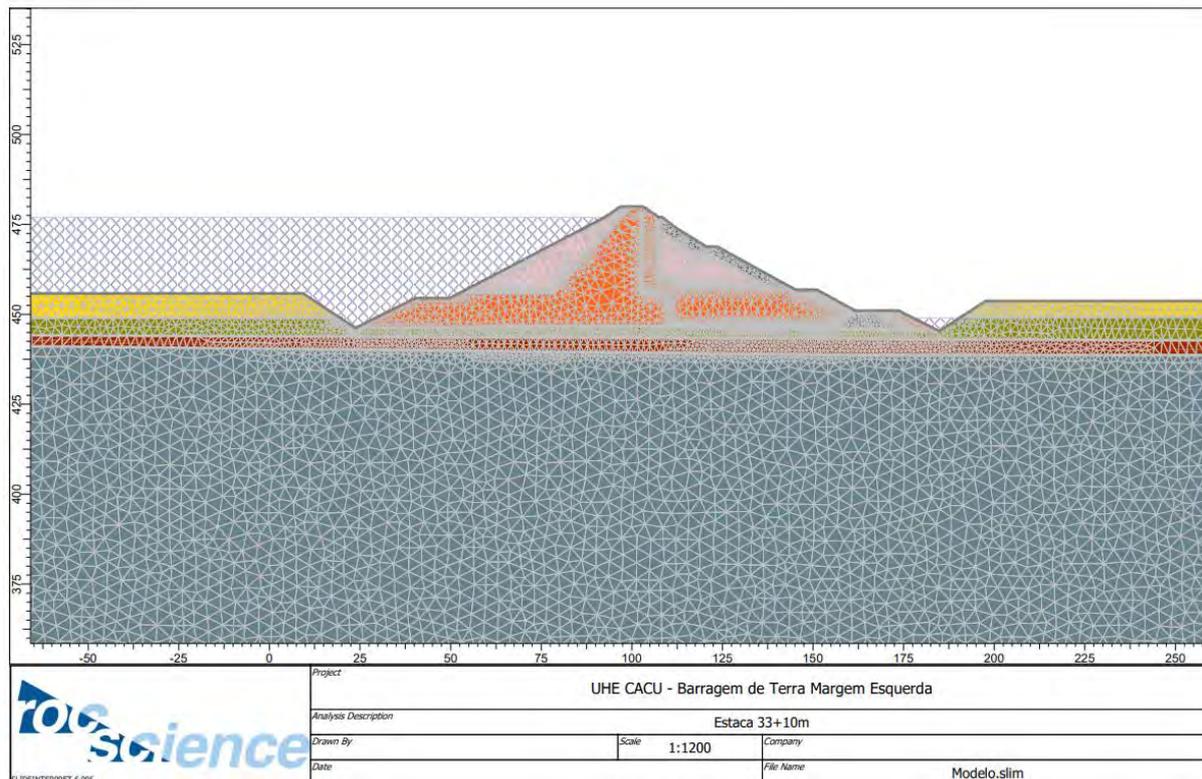


Figura 73. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 33+10,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório elevação normal, estão representadas na Figura 74 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

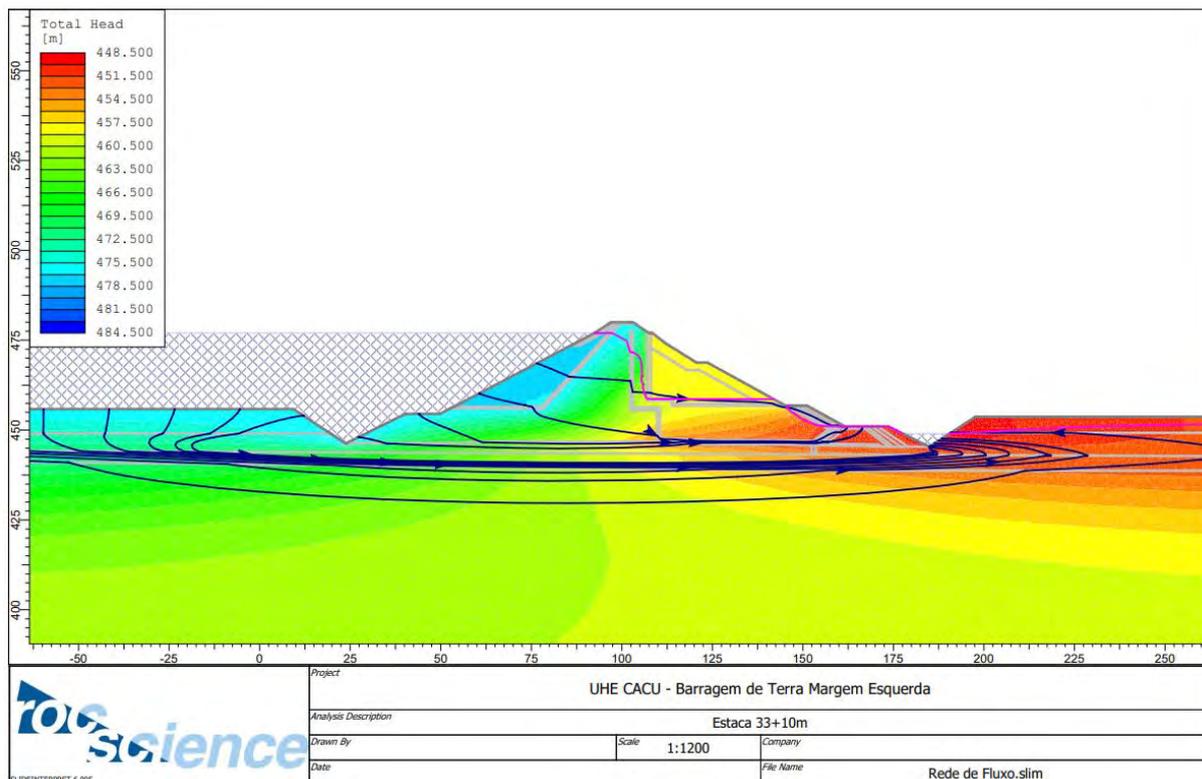


Figura 74. Rede de fluxo na Est. 33+10,0 m.

3.2.6.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 26.

A Figura 75 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 77 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 76 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 78 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

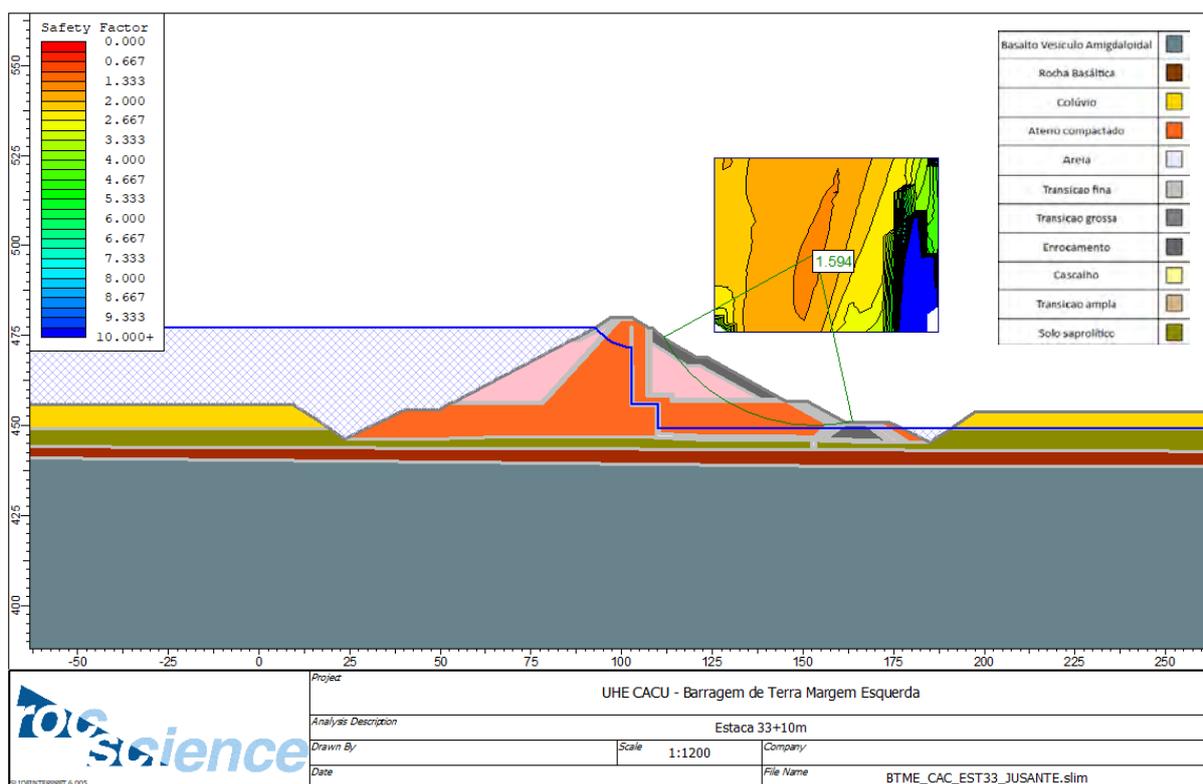


Figura 75. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 33+10,0 m.

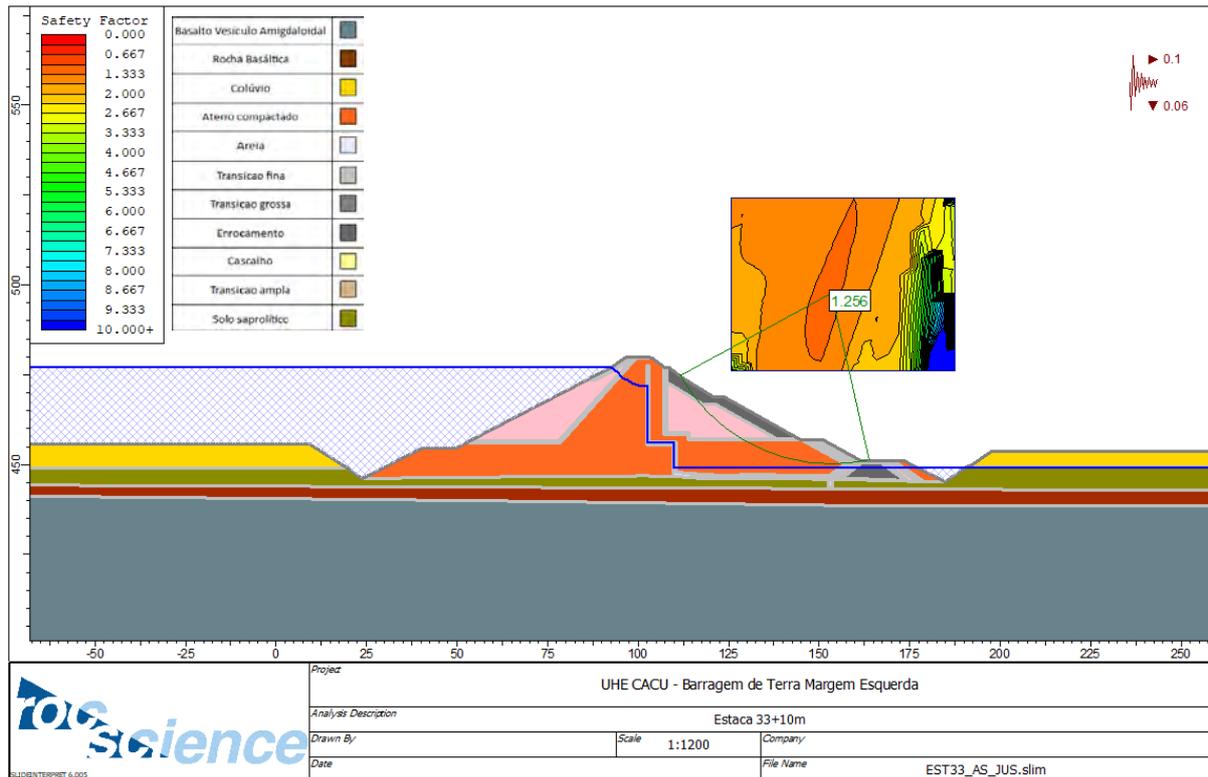


Figura 76. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 33+10,0 m.

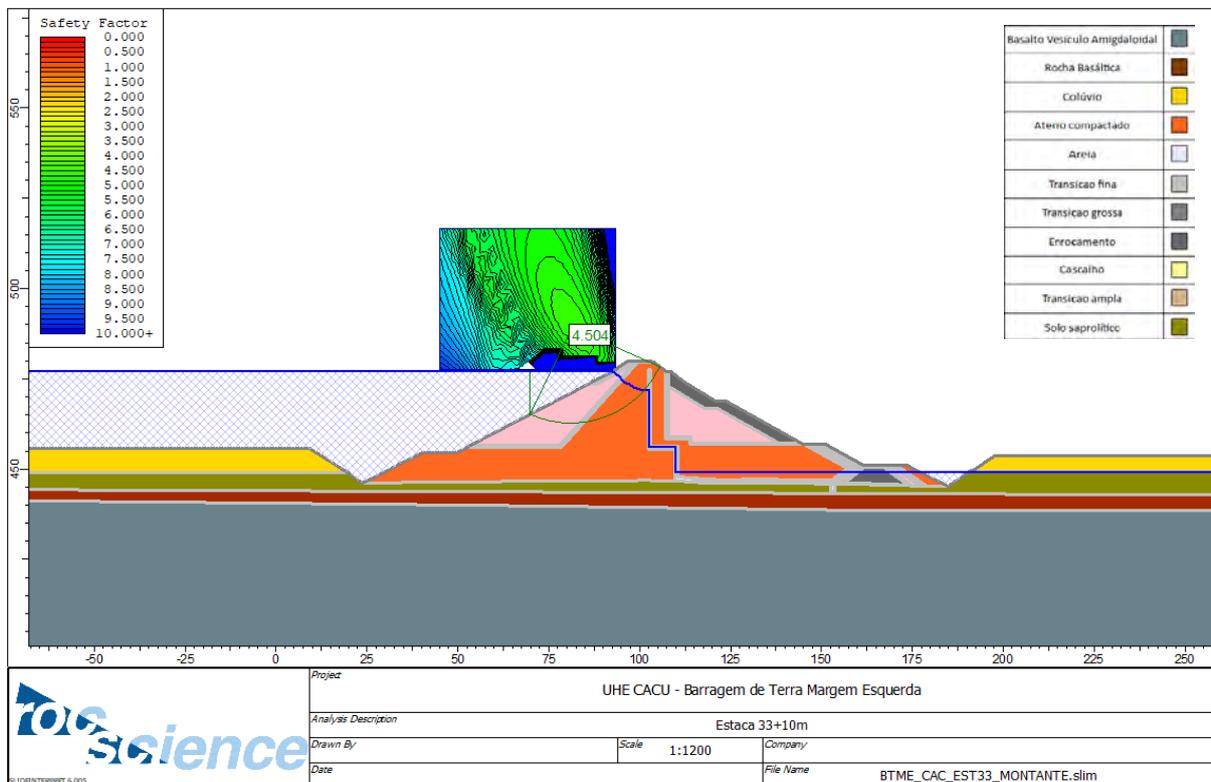


Figura 77. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 33+10,0 m.

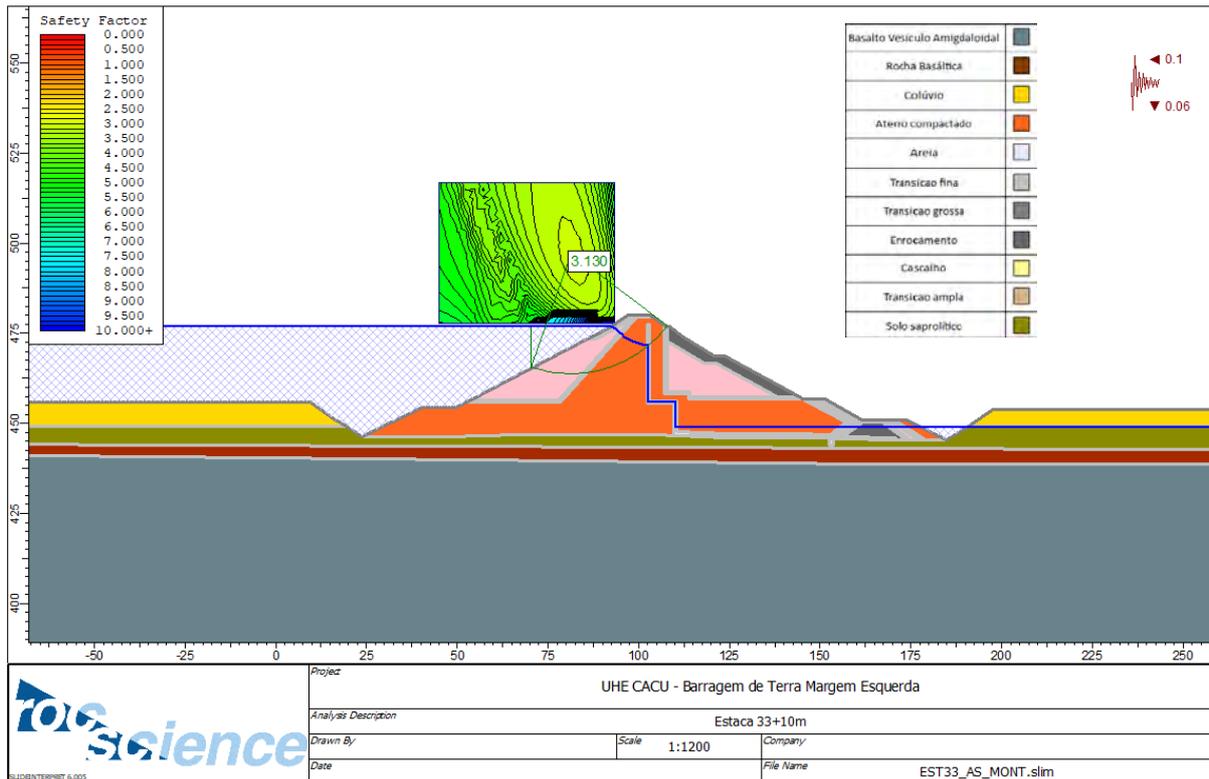


Figura 78. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 33+10,0 m.

3.2.6.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre as cotas 477,00 [m-IBGE] e 464,55 [m-IBGE], correspondente à elevação da crista do vertedouro. A Figura 79 apresenta a análise realizada.

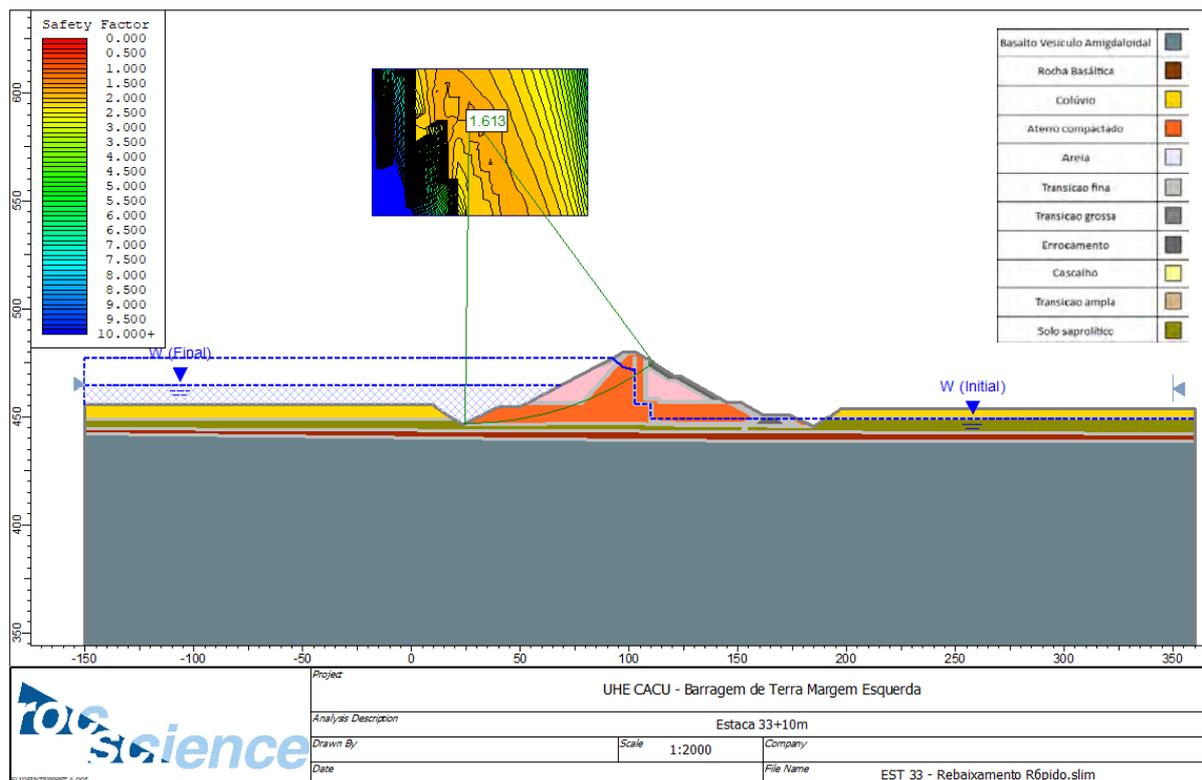


Figura 79. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na estaca 33+10,0 m.

3.2.6.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 26 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 33+10,0 m.

Tabela 26 – Resumo das informações da Estaca 33+10.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante	Operação	1,594	1,572	1,571	1,577	1,500
Montante		4,504	3,930	4,611	4,600	1,500
Jusante	Operação - Com Sismos	1,256	1,230	1,235	1,250	1,100
Montante		3,130	2,796	3,244	3,231	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	1,613	1,625	1,613	1,617	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 30+0,0 m atendem aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

3.2.7 Estaca 36+16,0 m

A geometria da seção da estaca 36+16,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 80.

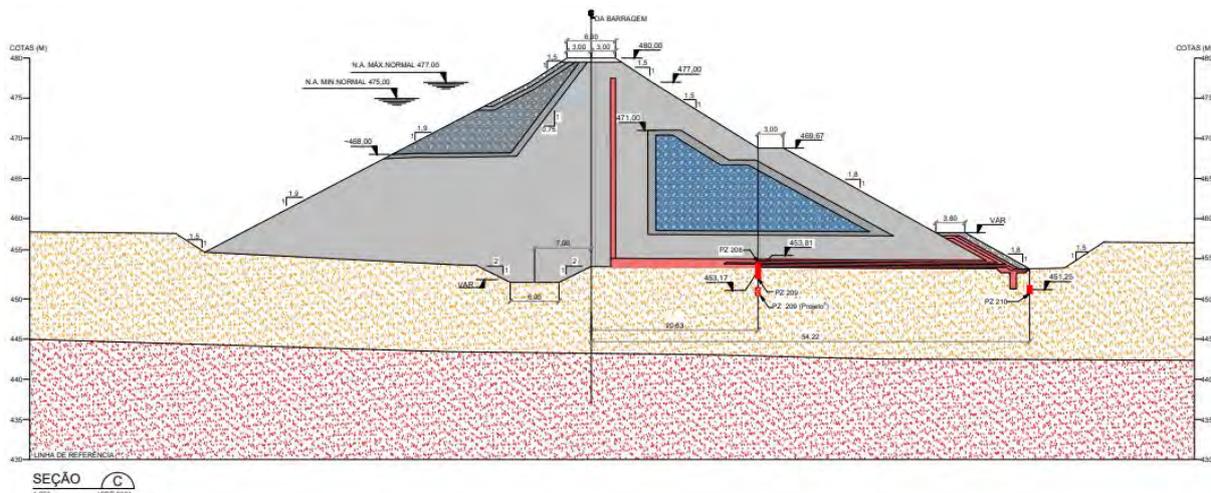


Figura 80. Seção da estaca 36+16 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Seções e detalhe (600-CAC-DES-ISBT-0002).

As informações dos instrumentos instalados na seção da Est. 36+16,0 m estão apresentadas na Tabela 27, onde também constam os valores das leituras realizadas em abril e maio de 2022.

Tabela 27 – Informações dos instrumentos instalados na Estaca 36+16.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]	Cota de Leitura	Cota de Leitura
			[m-IBGE] 26/04/2022	[m-IBGE] 10/05/2022
PZ – 208	453,81	469,72	456,06	456,05
PZ – 209*	453,17	469,73	456,09	456,08
PZ – 210	451,25	455,96	453,36	453,34

*Nota: instrumento danificado.

Segundo as leituras da última campanha de medições, os níveis piezométricos indicam que não há elevação da freática no espaldar de jusante, com comportamento adequado das subpressões no tapete e fundações. As cotas piezométricas indicam, ainda, comportamento de acordo com as linhas de fluxo apresentadas a seguir.

3.2.7.1 Rede de Fluxo na Condição de Operação Normal

Com base nas informações de projeto da UHE Caçu foi elaborado o modelo da Estaca 36+16,0 na ferramenta computacional Slide v6.0, da Rocscience. A Figura 81 apresenta a interface do modelo numérico para permeabilidade com a malha de elementos finitos.

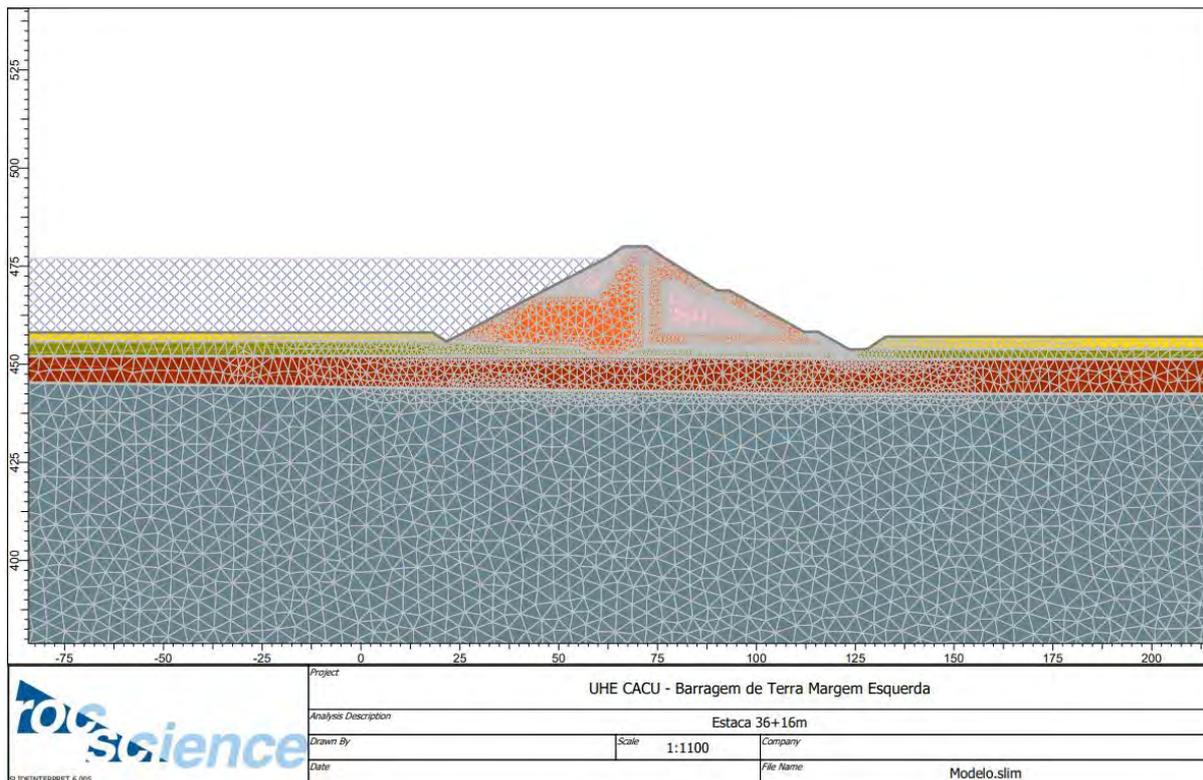


Figura 81. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 36+16,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório elevação normal, estão representadas na Figura 82 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

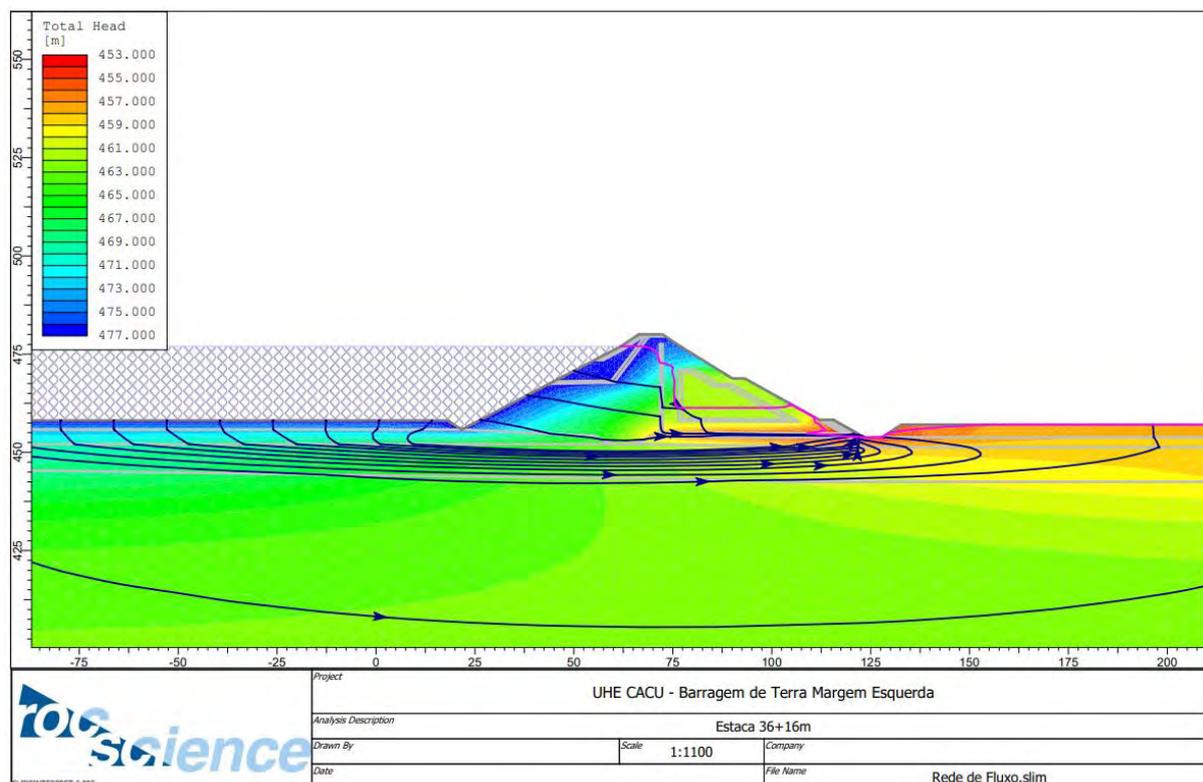


Figura 82. Rede de fluxo na Est. 36+16,0 m.

3.2.7.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 28.

A Figura 83 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 85 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 84 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 86 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

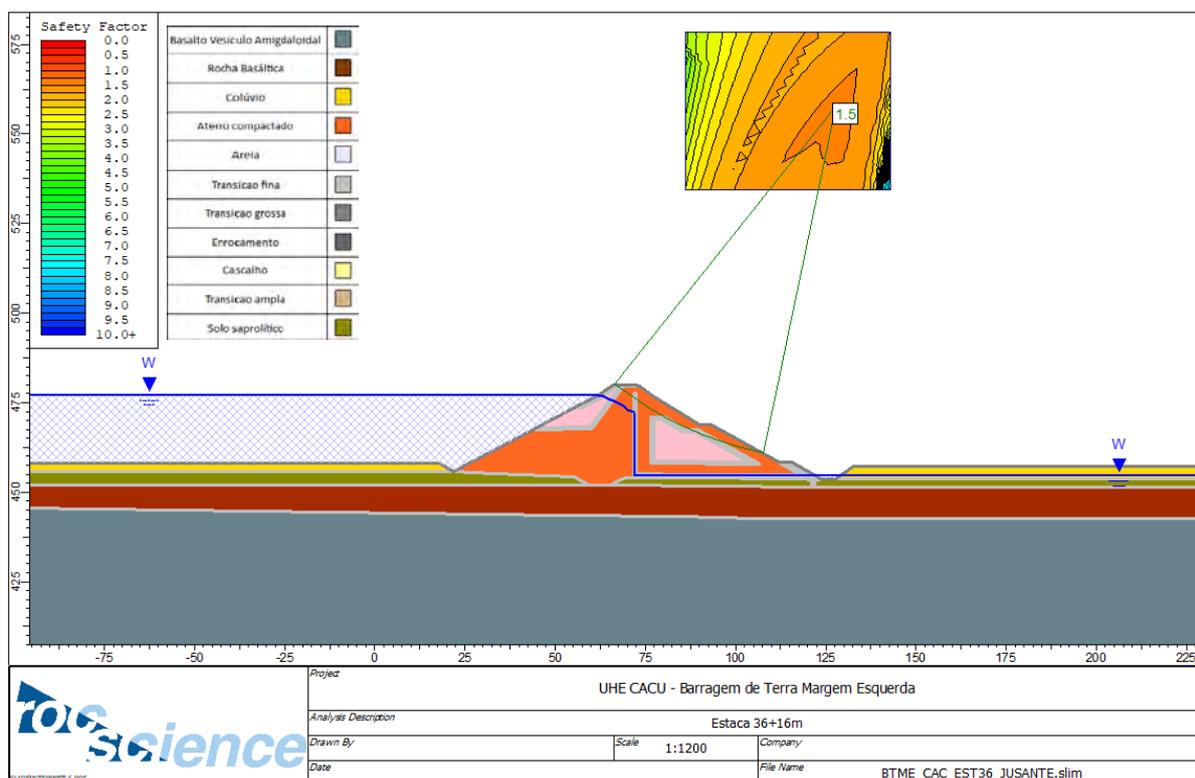


Figura 83. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 36+16,0 m.

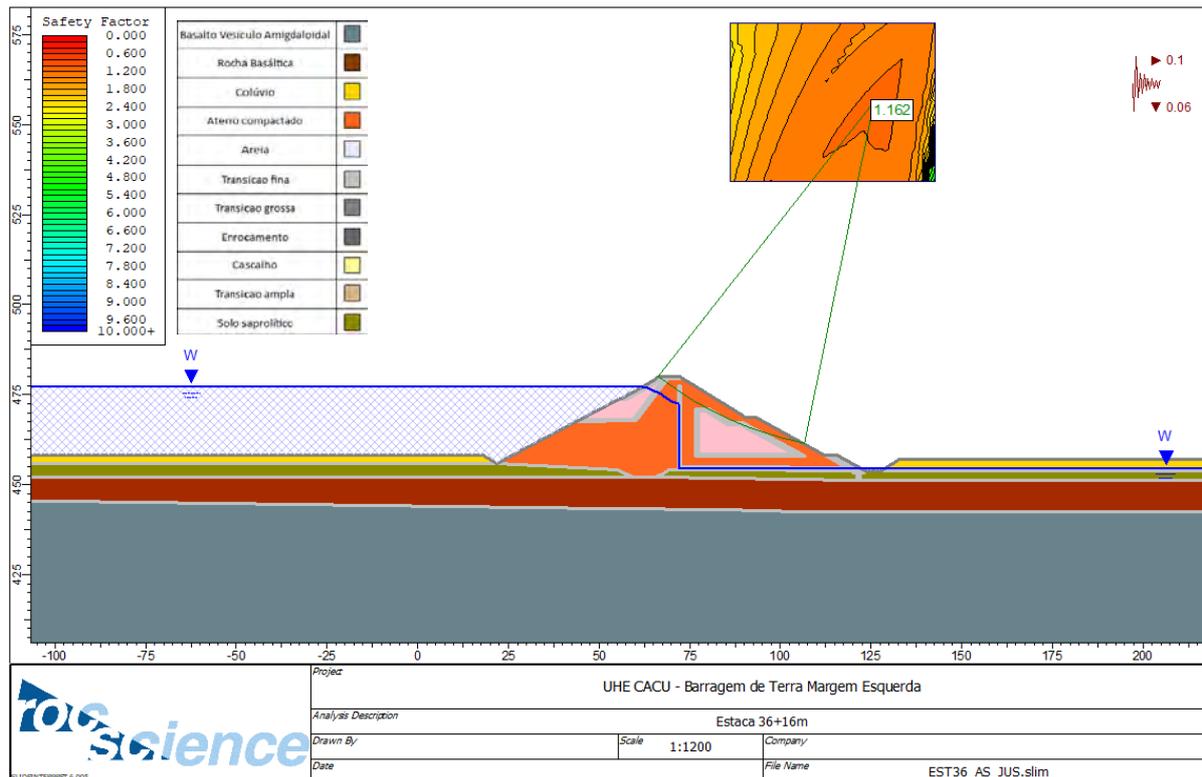


Figura 84. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 36+16,0 m.

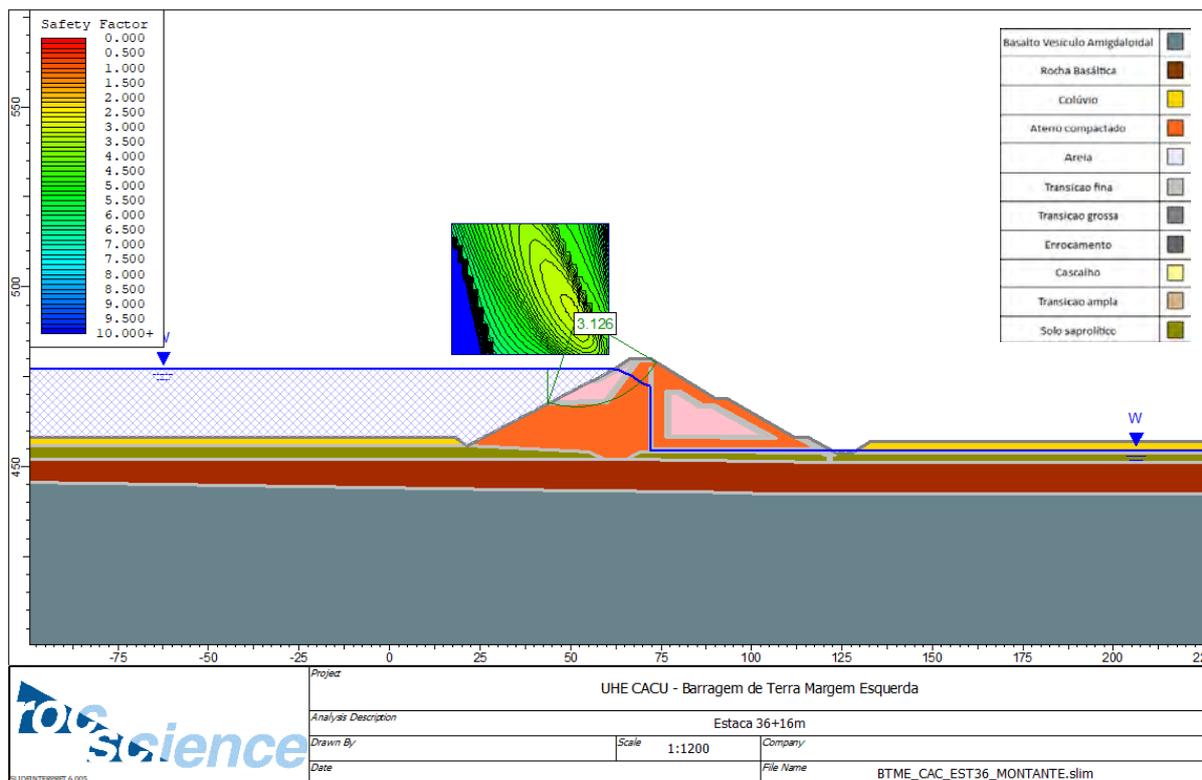


Figura 85. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 36+16,0 m.

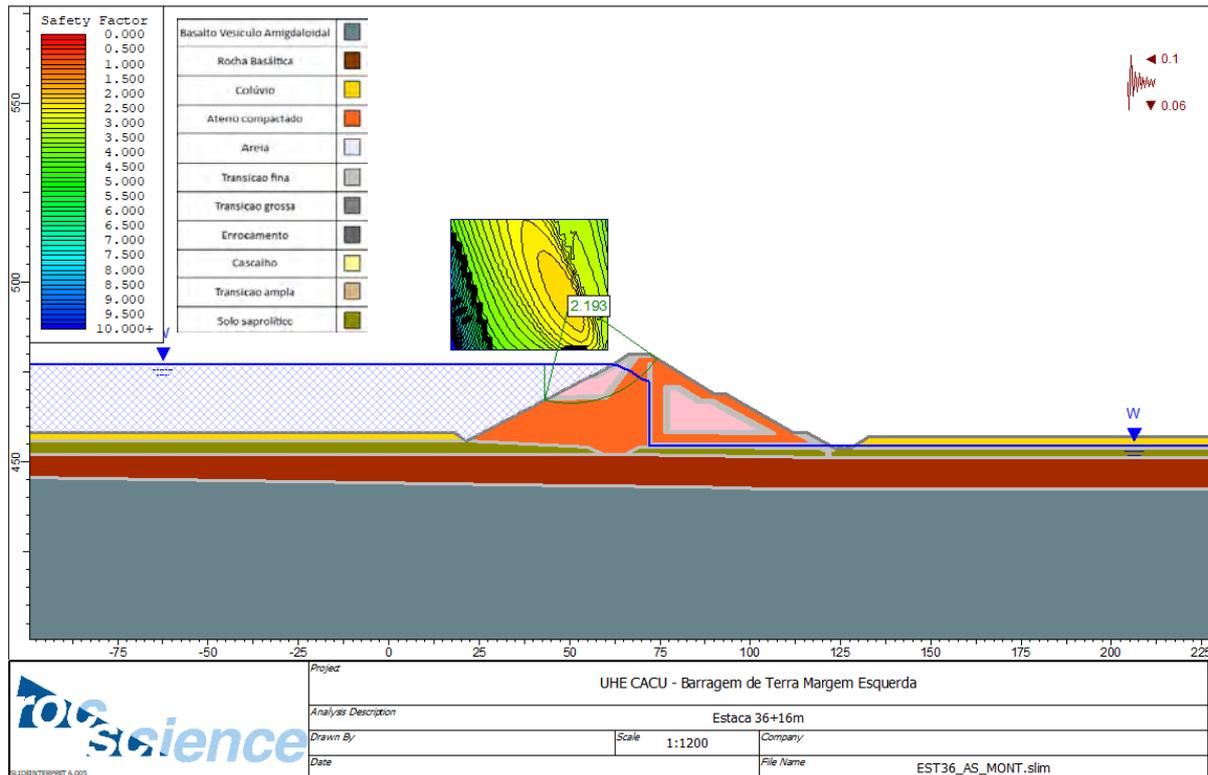


Figura 86. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 36+16,0 m.

3.2.7.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre as cotas 477,00 [m-IBGE] e 464,55 [m-IBGE], correspondente à elevação da crista do vertedouro. A Figura 87 apresenta a análise realizada.

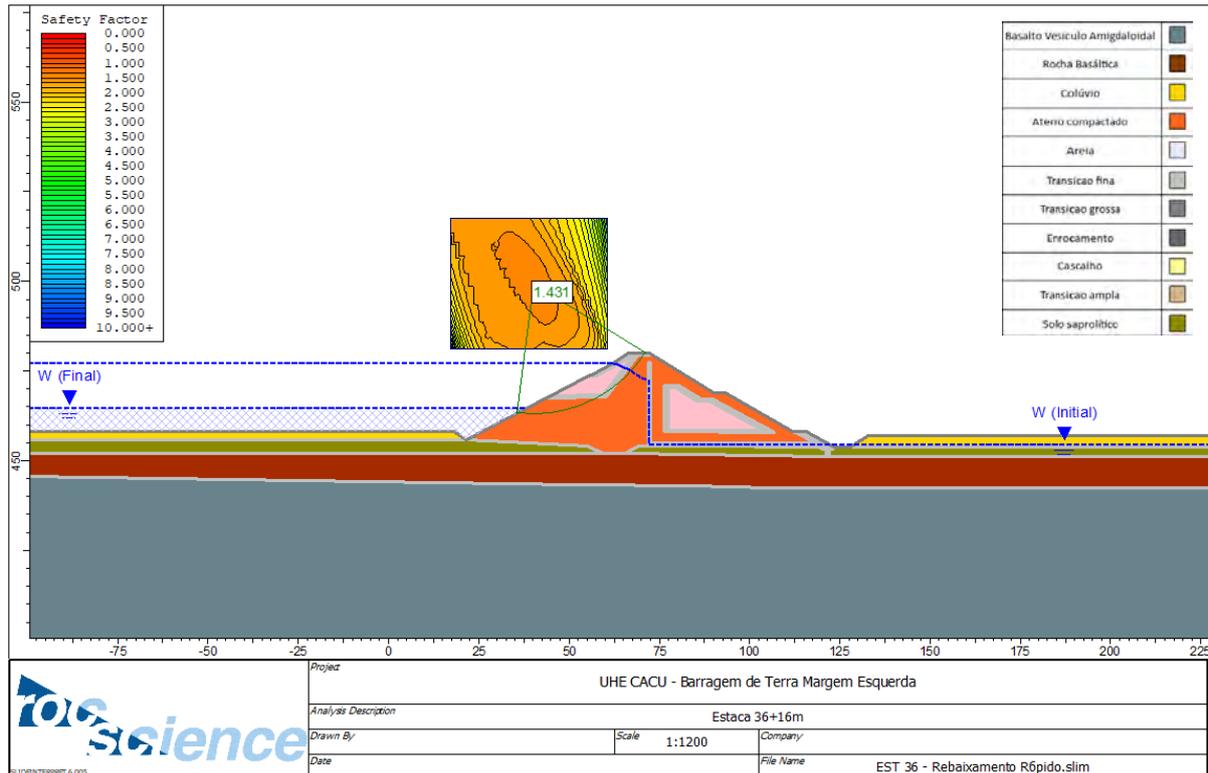


Figura 87. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na estaca 36+16,0 m.

3.2.7.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 28 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 36+16,0 m.

Tabela 28 – Resumo das informações da Estaca 36+16 m.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante	Operação	1,500	1,500	1,450	1,500	1,500
Montante		3,126	2,886	3,115	3,115	1,500
Jusante	Operação - Com Sismos	1,162	1,169	1,160	1,161	1,100
Montante		2,199	2,040	2,194	2,193	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	1,431	1,393	1,422	1,425	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 30+0,0 m atendem aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

Apesar do talude de jusante ter apresentado, no método GLE (Morgenstern-Price), um FS abaixo do recomendado, a seção pode ser considerada estável, uma vez que os demais métodos utilizados apresentaram o FS indicado pela norma. Isso ocorre porque os métodos se adequam de maneiras diferentes para cada análise.

3.2.8 Estaca 41+6,0 m

A geometria da seção da estaca 41+6,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 88.

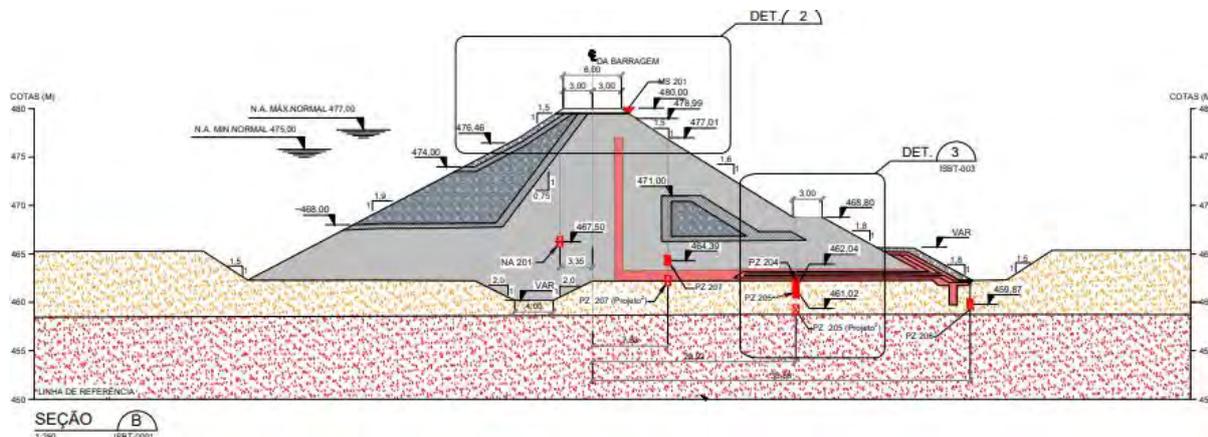


Figura 88. Seção da estaca 41+6,00 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Seções e detalhe (600-CAC-DES-ISBT-0002).

As informações dos instrumentos instalados na seção da Est. 41+6,0 m estão apresentadas na Tabela 29, onde também constam os valores das leituras realizadas em abril e maio de 2022.

Tabela 29 – Informações dos instrumentos instalados na Estaca 41+6,00.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]	Cota de Leitura [m-IBGE]	Cota de Leitura [m-IBGE]
			26/04/2022	10/05/2022
PZ 204	462,04	469,52	463,48	463,47
PZ 205*	461,02	469,53	462,98	462,99
PZ 206	459,87	463,82	462,45	462,45
PZ 207*	464,39	477,08	464,39	464,39
NA 201	467,50	480,11	470,24	470,27

*Nota: instrumentos provavelmente obstruídos.

Segundo as leituras da última campanha de medições, os níveis piezométricos indicam que não há elevação da freática no espaldar de jusante, com comportamento adequado das subpressões no tapete e fundações. As cotas piezométricas indicam, ainda, comportamento de acordo com as linhas de fluxo apresentadas a seguir.

3.2.8.1 Rede de Fluxo na Condição de Operação Normal

Com base nas informações de projeto da UHE Caçu foi elaborado o modelo da Estaca 41+6,0 m na ferramenta computacional Slide v6.0, da Rocscience. A Figura 89 apresenta a interface do modelo numérico para permeabilidade com a malha de elementos finitos.

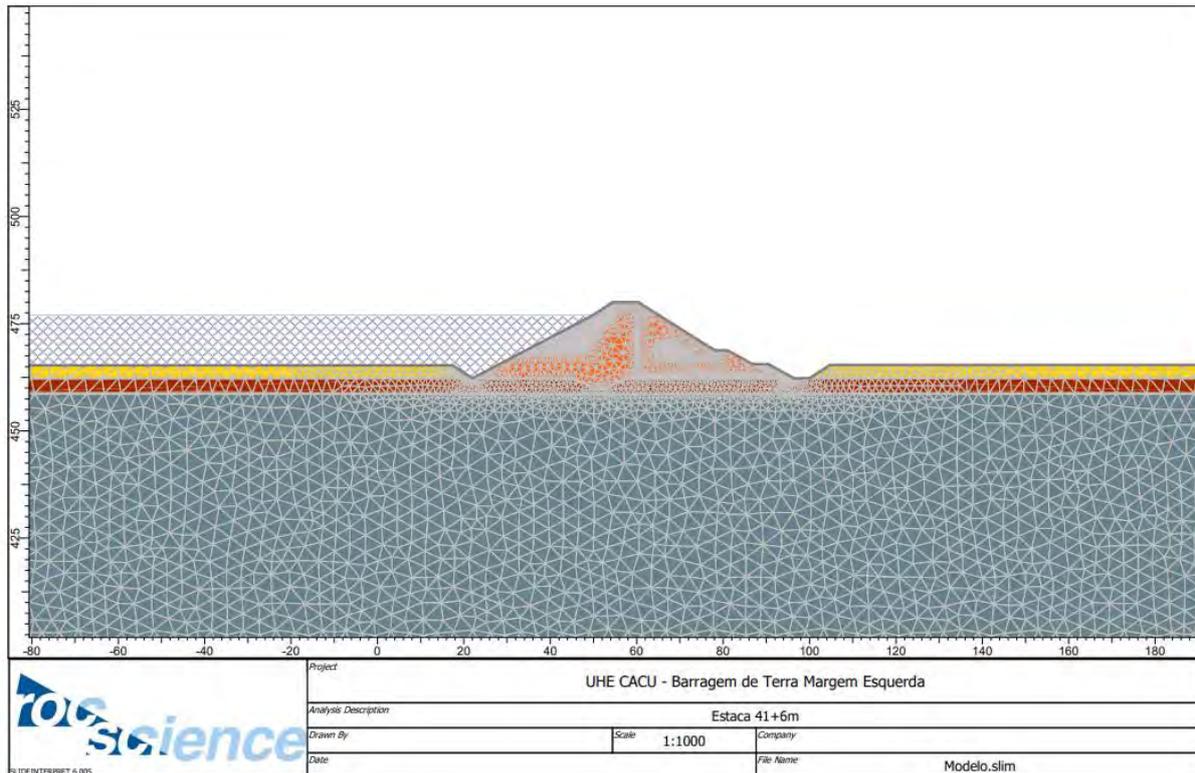


Figura 89. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 41+6,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório elevação normal, estão representadas na Figura 90 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

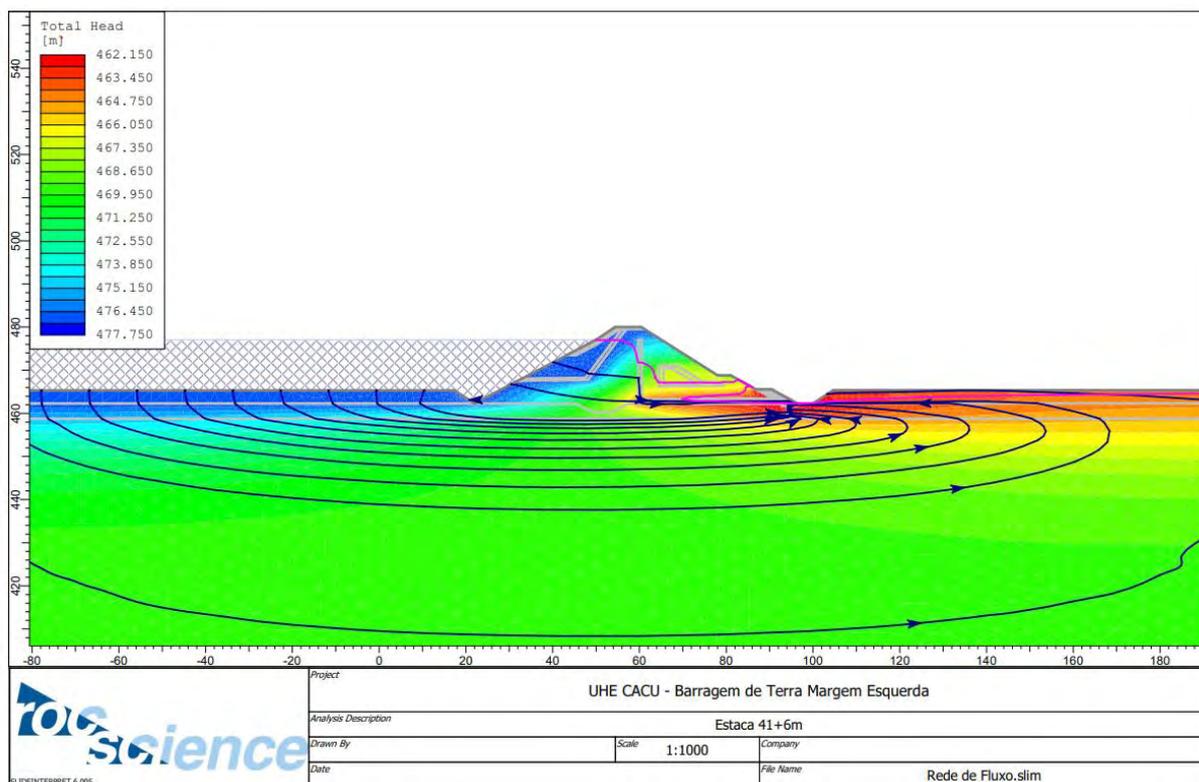


Figura 90. Rede de fluxo na Est. 41+6,0 m.

3.2.8.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 30.

A Figura 91 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 93 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 92 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 94 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

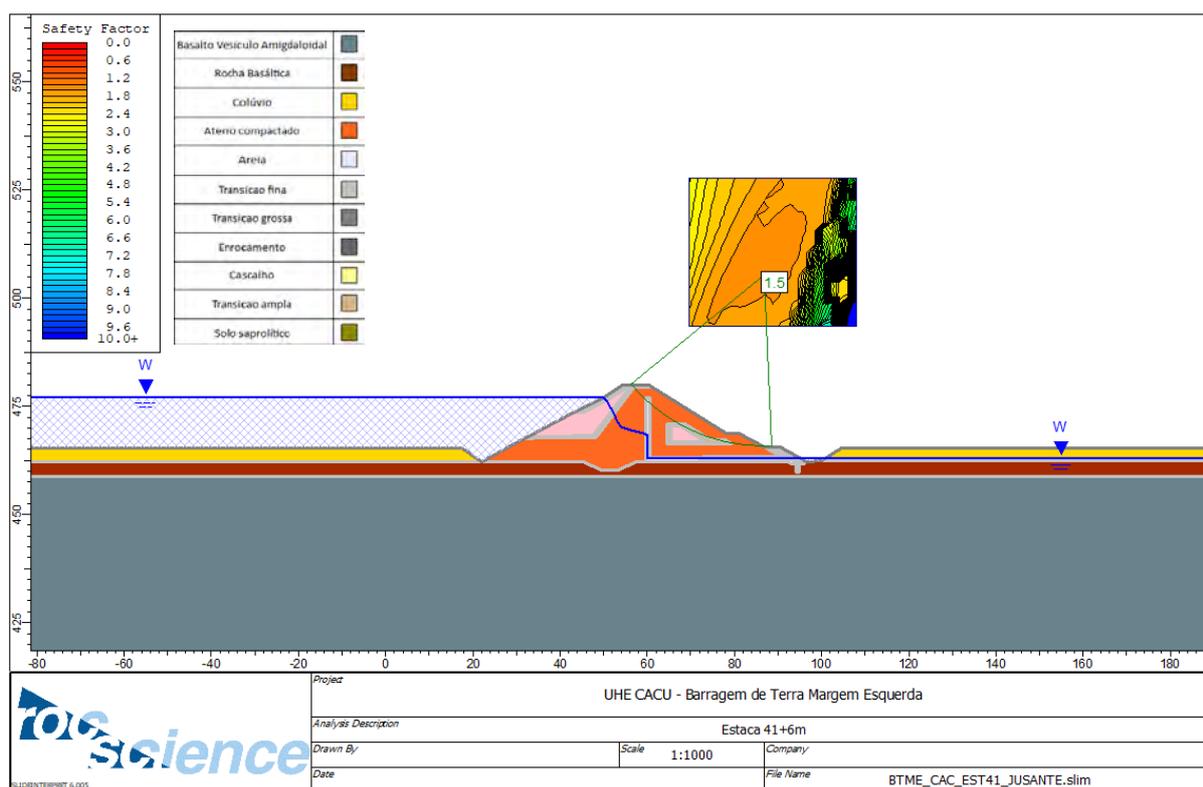


Figura 91. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 41+6,0 m.

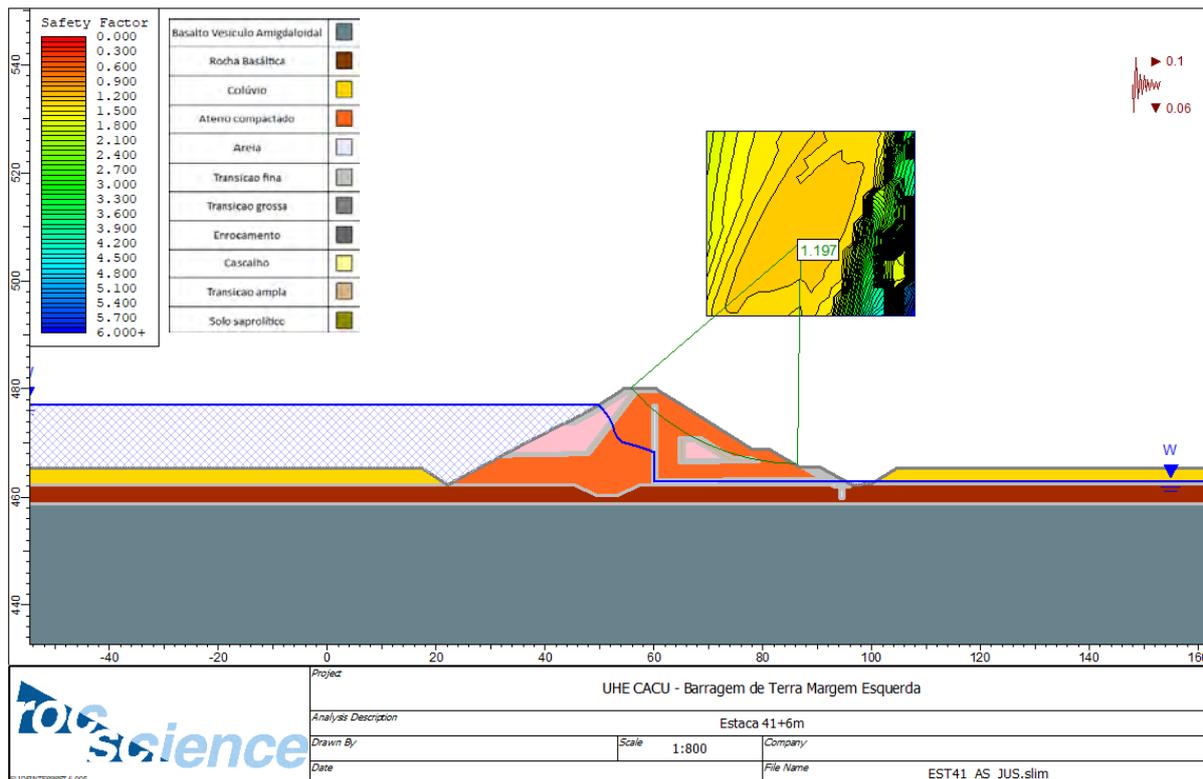


Figura 92. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 41+6,0 m.

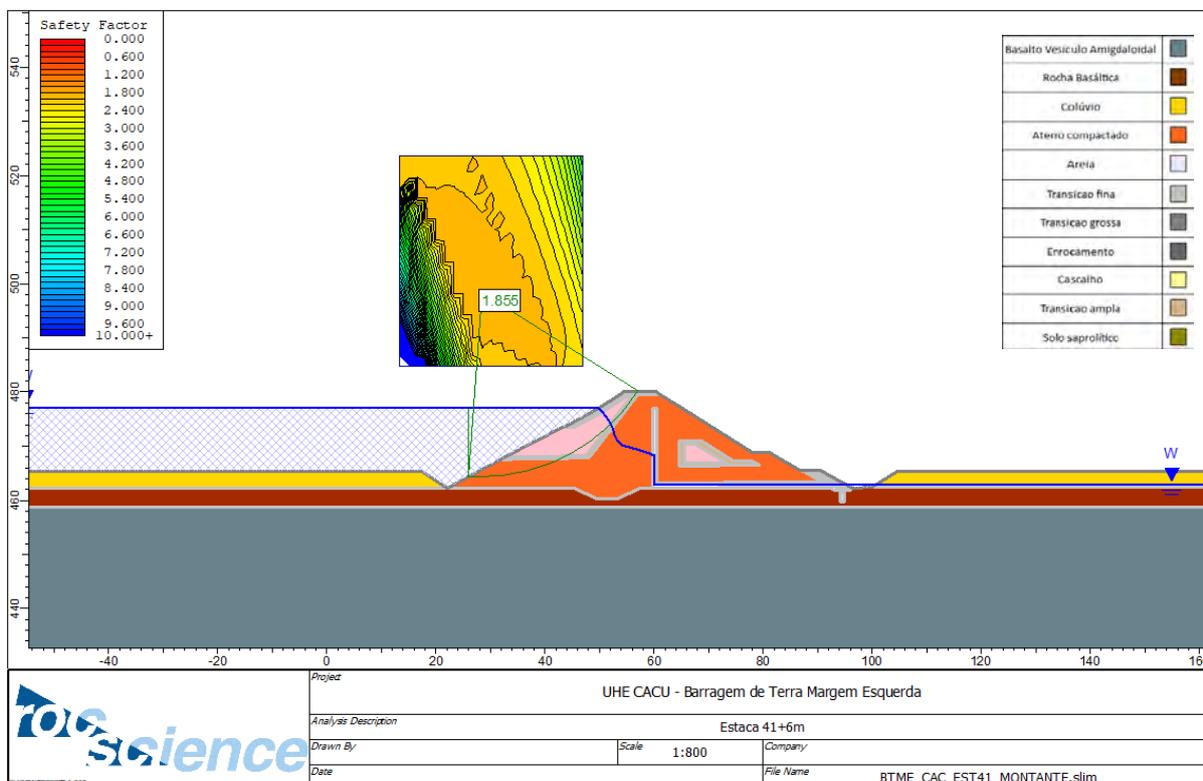


Figura 93. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 41+6,0 m.

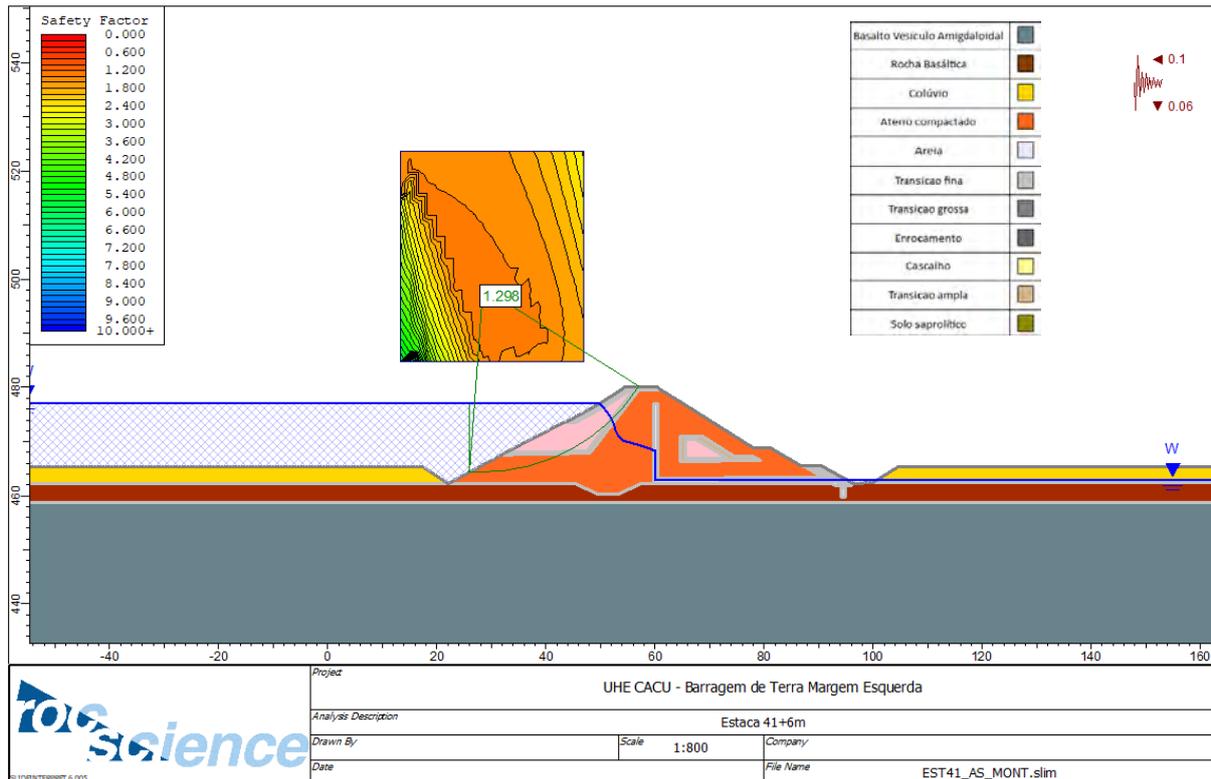


Figura 94. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 41+6,0 m.

3.2.8.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre as cotas 477,00 [m-IBGE] e 464,55 [m-IBGE], correspondente à elevação da crista do vertedouro. A Figura 95 apresenta a análise realizada.

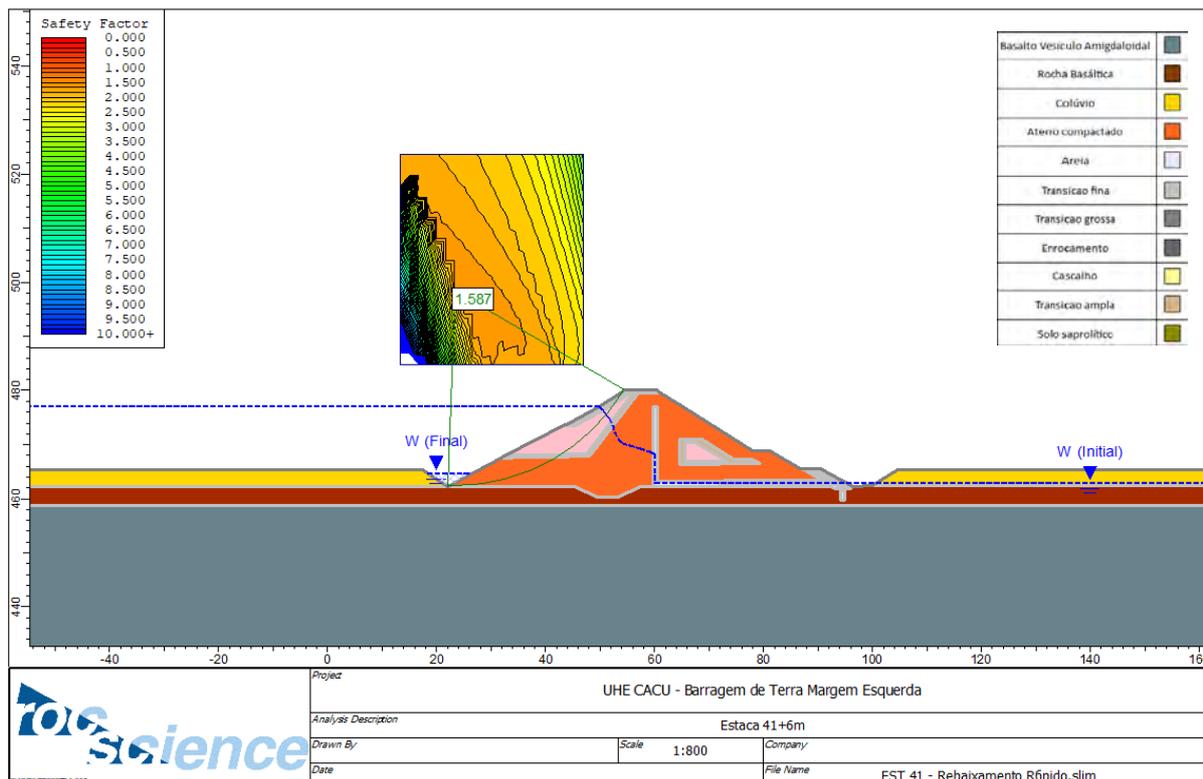


Figura 95. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na estaca 41+6,0 m.

3.2.8.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 30 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 41+6,0 m.

Tabela 30. Resumo das informações da Estaca 41+6,0 m.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante	Operação	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
Montante		1,855	1,777	1,792	1,808	1,500
Jusante	Operação - Com Sismos	1,197	1,192	1,198	1,194	1,100
Montante		1,298	1,243	1,244	1,259	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	1,587	1,552	1,551	1,556	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 41+6,0 m atendem aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

3.2.9 Estaca 46+5,0 m

A geometria da seção da estaca 46+5,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 96.

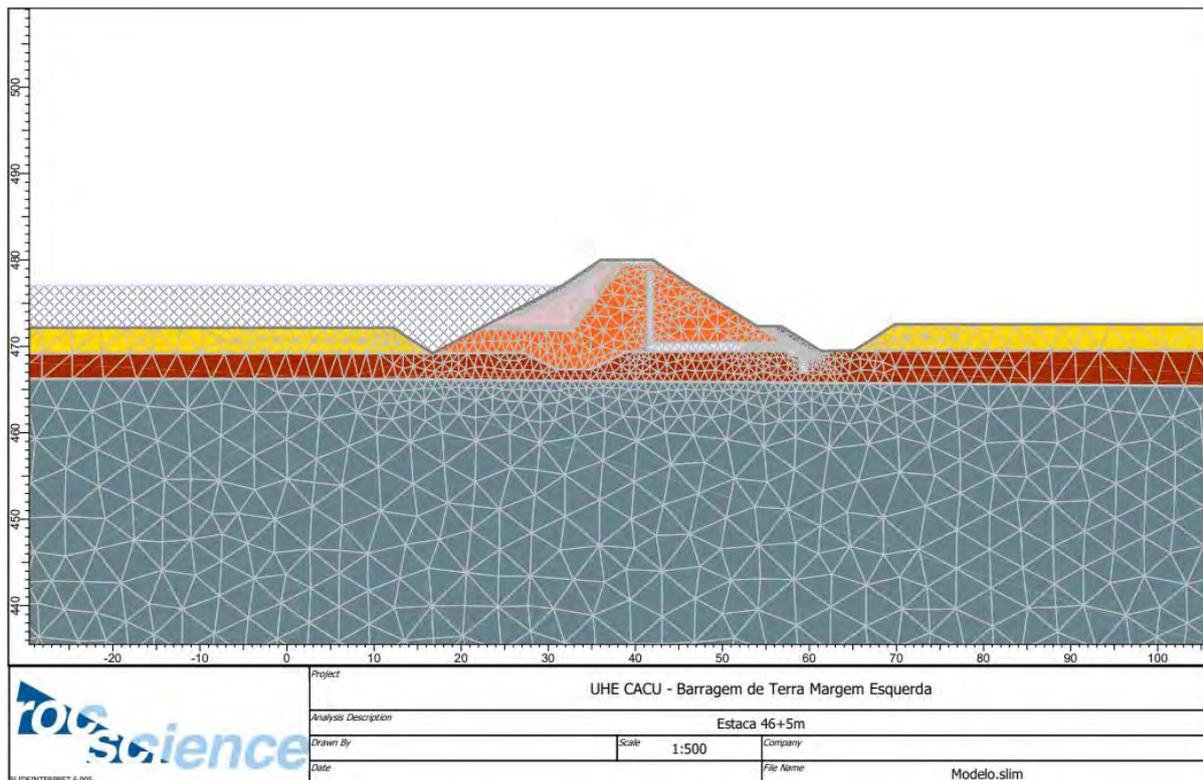


Figura 97. Modelo de permeabilidade e malha de elementos finitos para a seção da Est. 46+5,0 m.

As redes de fluxo obtidas para a condição de fluxo permanente, com o reservatório elevação normal, estão representadas na Figura 98 para as permeabilidades obtidas em laboratório e calibradas conforme as informações dos instrumentos instalados nas seções.

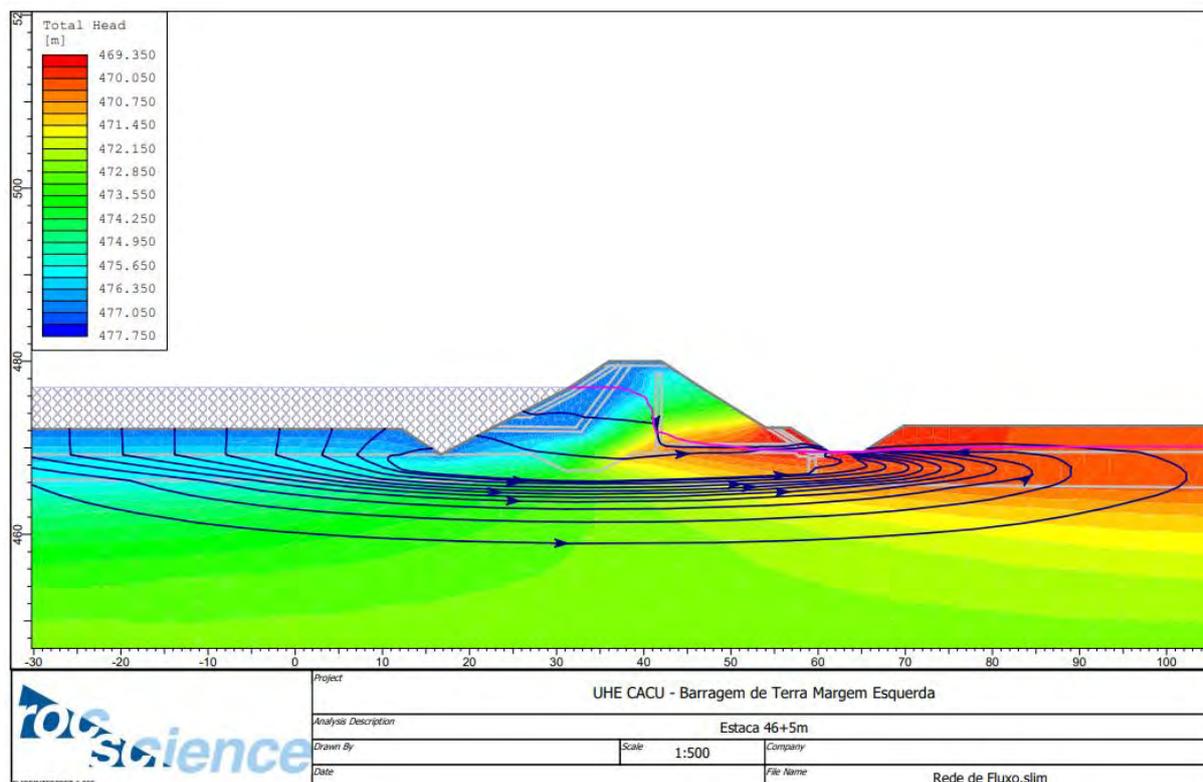


Figura 98. Rede de fluxo na Est. 46+5,0 m.

3.2.9.2 Análises de Estabilidade na Condição de Fluxo Permanente

Para a condição de fluxo permanente, foram realizadas análises de estabilidade para os taludes de montante e de jusante. Os fatores de segurança, apresentados nas figuras a seguir, foram obtidos segundo o critério de ruptura de Bishop simplificado (1955). Os fatores de segurança obtidos segundo os critérios de ruptura de Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer estão apresentados na Tabela 32.

A Figura 99 ilustra a superfície crítica obtida na análise de estabilidade do talude de jusante para as condições de carregamento baseadas nos dados obtidos dos instrumentos instalados na seção. Já a Figura 101 ilustra o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

A Figura 100 ilustra o resultado, sob as mesmas condições de carregamento, porém com a adição da ocorrência de sismos, para o talude de jusante. Já a Figura 102 apresenta o resultado para o talude de montante sob as mesmas condições citadas.

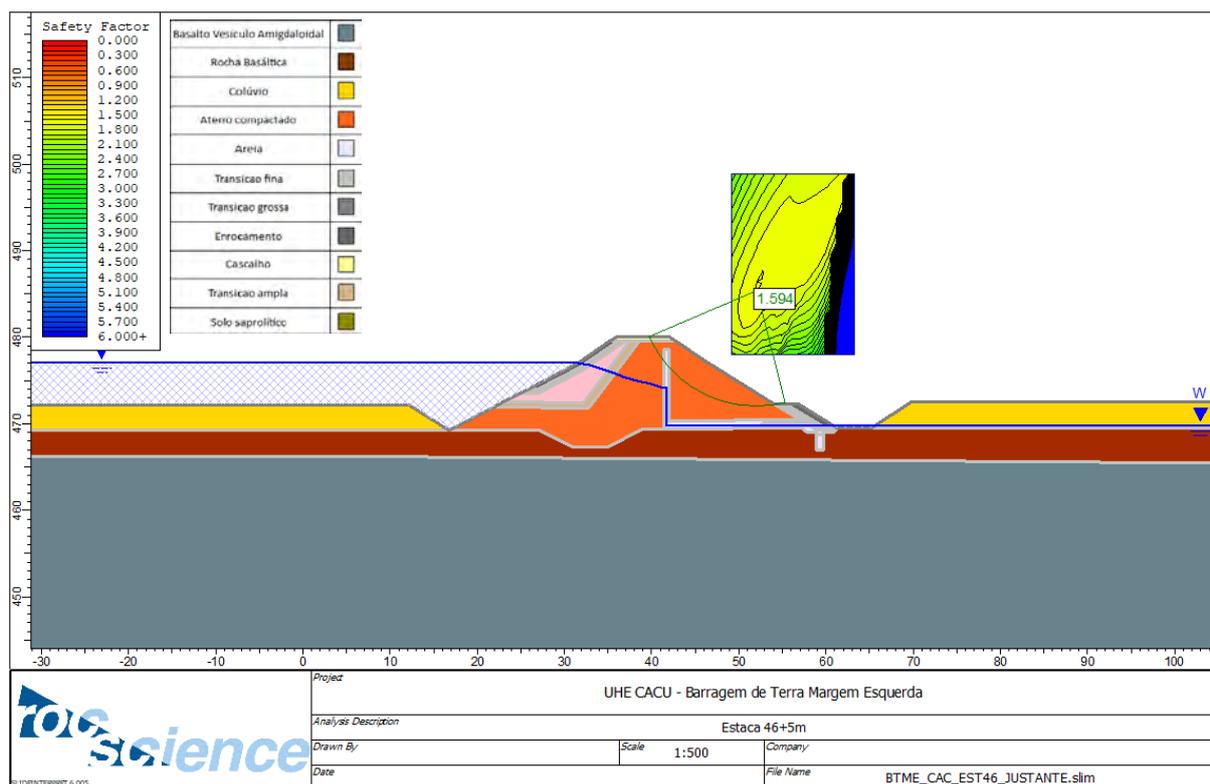


Figura 99. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 46+5,0 m.

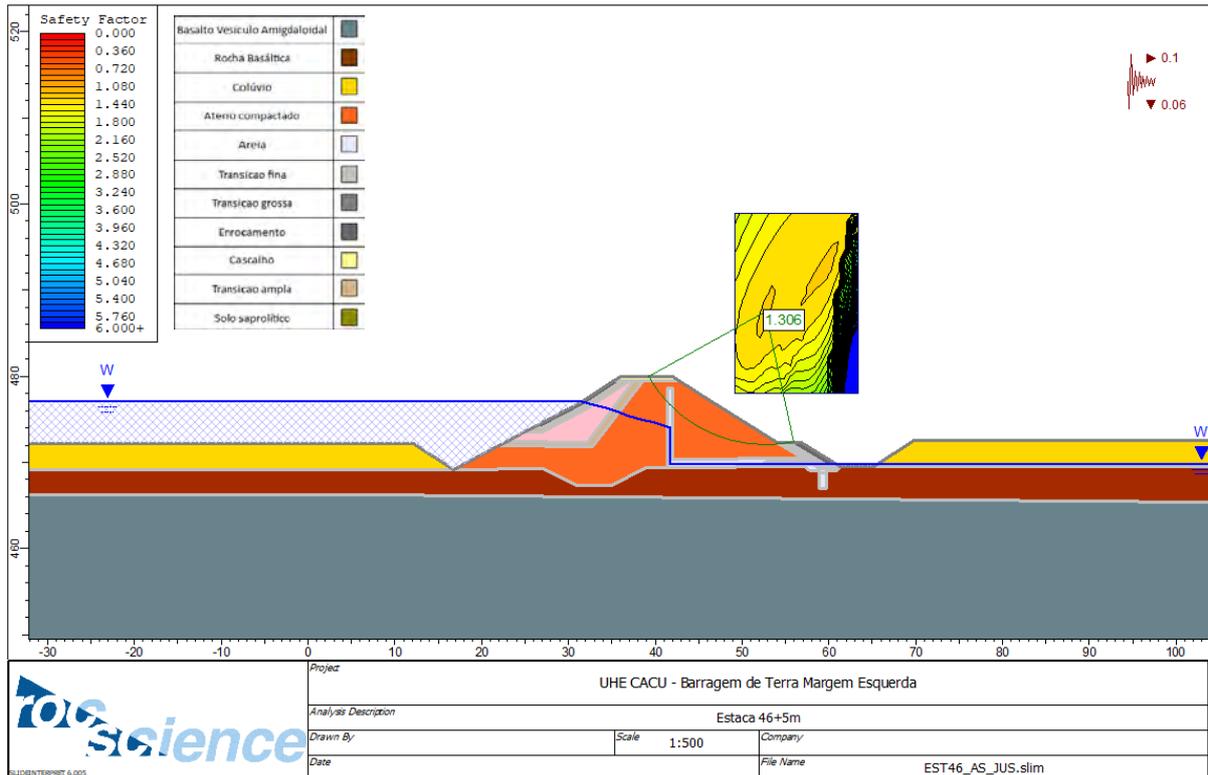


Figura 100. Análise de estabilidade do talude de jusante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 46+5,0 m.

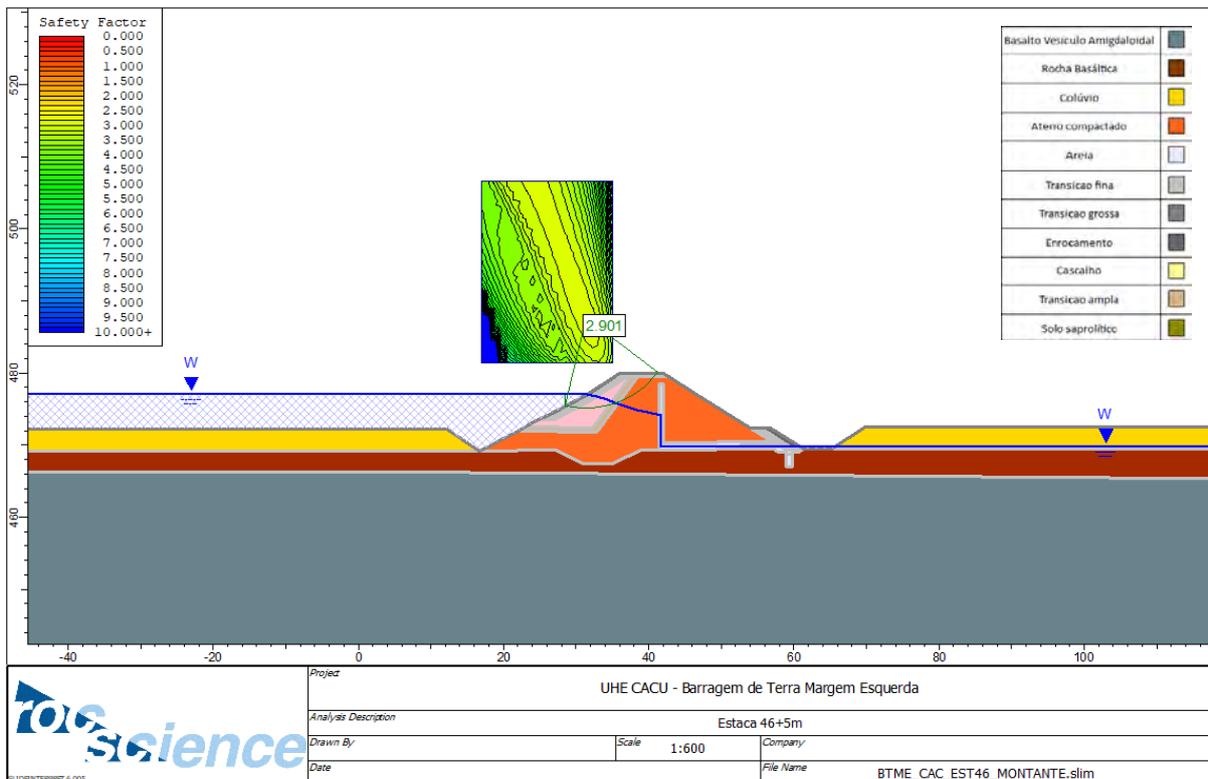


Figura 101. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal para a seção da Est. 46+5,0 m.

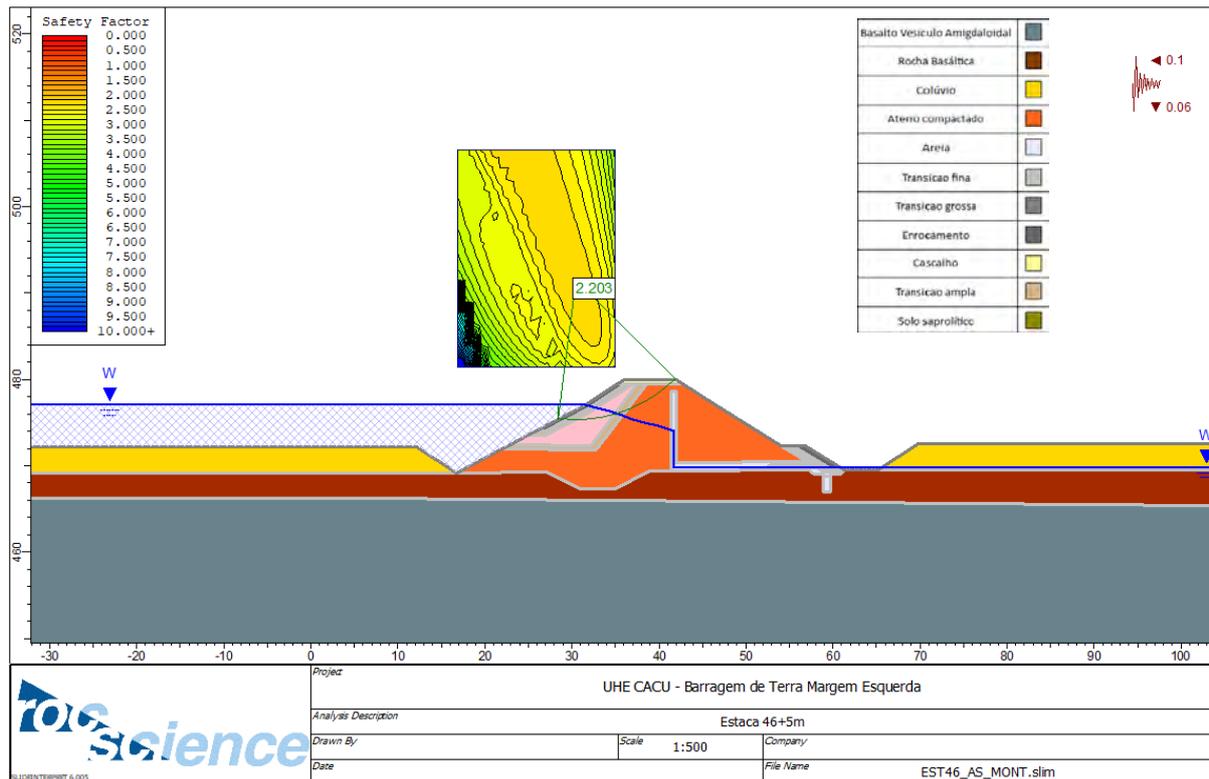


Figura 102. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de regime de operação normal e ocorrência de sismos para a seção da Est. 46+5,0 m.

3.2.9.3 Análises de Estabilidade na Condição de Rebaixamento Rápido

Além das análises considerando a operação do reservatório em regime normal, foram analisados fatores de segurança para a situação de rebaixamento rápido do reservatório. Para esta situação o rebaixamento se deu entre as cotas 477,00 [m-IBGE] e 464,55 [m-IBGE], correspondente à elevação da crista do vertedouro. A Figura 103 apresenta a análise realizada.

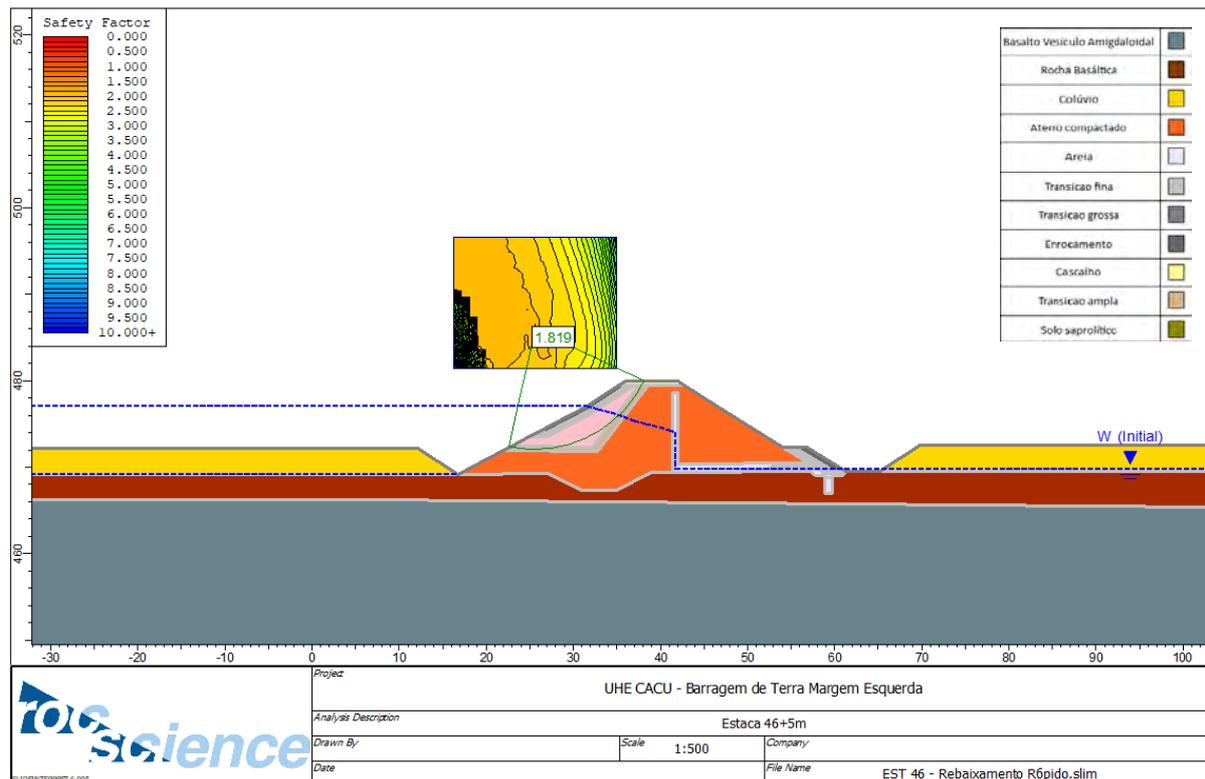


Figura 103. Análise de estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório para seção na estaca 46+5,0 m.

3.2.9.4 Resumo dos Fatores de Segurança Obtidos

Na Tabela 32 é apresentado o resumo dos fatores de segurança obtidos para a seção da Est. 46+5,0 m.

Tabela 32. Resumo das informações da Estaca 46+5,00 m.

Talude	Condição	FS Calculado				FS - Norma
		Bishop	Janbu	GLE (Morgenstern-Price)	Spencer	
Jusante	Operação	1,594	1,551	1,587	1,587	1,500
Montante		2,901	2,835	2,951	2,949	1,500
Jusante	Operação - Com Sismos	1,306	1,267	1,303	13,303	1,100
Montante		2,203	2,155	2,212	2,212	1,100
Montante	Rebaixamento rápido	1,819	1,687	1,777	1,790	1,300

De acordo com as análises realizadas, os FS obtidos para a seção da Est. 46+5,0 m são superiores aos valores mínimos recomendados pela Eletrobrás (2003) para todos os cenários avaliados. Assim, considerando os parâmetros utilizados neste estudo, a seção é considerada estável.

3.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS

A Tabela 33 apresenta os fatores de segurança obtidos nos estudos de estabilidade para todas as seções da UHE Caçu.

Tabela 33. Síntese dos fatores de segurança obtidos para todas as seções analisadas.

Local	Condição	Operação Normal		Operação Normal Com Sismos		Rebaixamento Rápido
	Talude	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Montante
	FS Mínimo	1,500	1,500	1,100	1,100	1,300
	Estaca	FS Calculado - BISHOP				
BTMD	5+0,0 m	1,853	2,606	1,480	2,019	2,029
	7+0,0 m	1,864	2,188	1,290	1,655	1,952
	8+4,0 m	1,500	2,744	1,197	2,038	1,781
BTME	20+12,0 m	1,671	6,208	1,291	4,254	1,821
	21+12,0 m	1,624	6,467	1,326	4,271	2,027
	23+10,0 m	1,875	5,758	1,477	3,777	2,015
	25+0,0 m	1,752	5,716	1,385	3,751	1,904
	30+0,0 m	1,894	4,205	1,497	2,924	1,576
	33+10,0 m	1,594	4,504	1,256	3,13	1,613
	36+16,0 m	1,500	3,126	1,162	2,199	1,431
	41+6,0 m	1,500	1,855	1,197	1,298	1,587
	46+5,0 m	1,594	2,901	1,306	2,203	1,819
	Estaca	FS Calculado - JANBU				
BTMD	5+0,0 m	1,822	2,561	1,449	1,980	2,023
	7+0,0 m	1,857	2,166	1,297	1,636	1,952
	8+4,0 m	1,500	2,643	1,184	1,970	1,761
BTME	20+12,0 m	1,637	5,550	1,290	3,876	1,834
	21+12,0 m	1,627	5,888	1,322	3,969	2,038
	23+10,0 m	1,875	5,439	1,476	3,573	1,964
	25+0,0 m	1,767	5,286	1,396	3,503	1,803
	30+0,0 m	1,857	3,626	1,452	2,547	1,455
	33+10,0 m	1,572	3,930	1,23	2,796	1,625
	36+16,0 m	1,500	2,886	1,169	2,04	1,393
	41+6,0 m	1,500	1,777	1,192	1,243	1,552
	46+5,0 m	1,551	2,835	1,267	2,155	1,687
	Estaca	FS Calculado - GLE (MORGENSTERN-PRICE)				
BTMD	5+0,0 m	1,876	1,874	1,502	2,029	2,025
	7+0,0 m	1,860	2,193	1,304	1,660	1,950
	8+4,0 m	1,500	2,744	1,189	2,041	1,774
BTME	20+12,0 m	1,699	6,220	1,316	4,284	1,821
	21+12,0 m	1,637	6,494	1,346	4,310	2,027
	23+10,0 m	1,910	5,675	1,513	3,697	2,002
	25+0,0 m	1,747	5,613	1,381	3,653	1,906
	30+0,0 m	1,843	4,182	1,453	2,91	1,572
	33+10,0 m	1,571	4,611	1,235	3,244	1,613
	36+16,0 m	1,450	3,115	1,16	2,194	1,422
	41+6,0 m	1,500	1,792	1,198	1,244	1,551
	46+5,0 m	1,587	2,951	1,303	2,212	1,777
	Estaca	FS Calculado - SPENCER				
BTMD	5+0,0 m	1,874	2,619	1,498	2,052	2,033
	7+0,0 m	1,862	2,201	1,300	1,671	1,951
	8+4,0 m	1,450	2,752	1,193	2,052	1,776
BTME	20+12,0 m	1,704	6,230	1,328	4,287	1,824

Local	Condição	Operação Normal		Operação Normal Com Sismos		Rebaixamento Rápido
	Talude	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Montante
	FS Mínimo	1,500	1,500	1,100	1,100	1,300
	21+12,0 m	1,644	6,502	1,355	4,311	2,027
	23+10,0 m	1,903	5,696	1,519	3,723	2,028
	25+0,0 m	1,760	5,636	1,393	3,673	1,929
	30+0,0 m	1,859	4,206	1,471	2,938	1,594
	33+10,0 m	1,577	4,600	1,250	3,231	1,617
	36+16,0 m	1,500	3,115	1,161	2,193	1,425
	41+6,0 m	1,500	1,808	1,194	1,259	1,556
	46+5,0 m	1,587	2,949	13,303	2,212	1,790

Todas as seções analisadas apresentaram fator de segurança de acordo com os critérios mínimos da Eletrobrás (2003). Assim, considerando os parâmetros e cenários utilizados neste estudo, as seções são consideradas estáveis.

As seções de jusante das estacas 8+4,0 m e 36+16,0 m apresentaram FS abaixo do recomendado para um dos métodos de cálculo utilizado: método de Spencer e GLE (Morgenstern-Price), respectivamente. Isso ocorre pois cada método se adequa de maneira diferente em cada análise, portanto, a depender do caso, alguns métodos se tornam inadequados para analisar o comportamento de uma seção. Ainda assim, para os três outros métodos de cálculo utilizados, as seções apresentaram FS recomendado. Portanto, as seções são consideradas estáveis.

Ressalta-se que as simulações considerando a linha freática conforme o comportamento dos instrumentos localizados em cada seção são mais representativas para a UHE Caçu, uma vez que retratam as condições da freática encontradas no campo.

4 CONCLUSÃO

O presente documento foi elaborado com o intuito de atualizar os estudos de estabilidade global das estruturas de terra e enrocamento da UHE Caçu, apresentados no relatório 600-CAC-RT-RES-REV_0. Para a elaboração deste estudo foram alterados os parâmetros geotécnicos de coesão, ângulo de atrito e permeabilidade dos materiais da seção do barramento e da fundação.

Os novos parâmetros foram reavaliados considerando as características geotécnicas e geológicas dos materiais. Para o material do maciço da barragem, foram utilizados os resultados dos ensaios triaxiais disponibilizados no “Relatório de Ensaios Geotécnicos da Barragem de Terra”, produzido pela DIEFRA (cód. 1250-20).

Foram realizadas análises considerando os dados obtidos nos instrumentos localizados em cada uma das seções. Para as seções em que havia Medidores de Nível D’Água

instalados, foram utilizados os dados de nível de água medidos pelos instrumentos. Para as seções que possuíam apenas Piezômetros instalados, foram utilizados os dados de poro pressão medidos pelos instrumentos. Considera-se que essas simulações com a são mais representativas para o estudo, uma vez que retratam com maior fidelidade as condições encontradas em campo.

Além disso, foram realizadas análises sísmicas para uma operação normal do reservatório, considerando uma aceleração horizontal de 0,10 g e aceleração vertical de 0,06 g. Esses valores considerados são mais conservadores do que os recomendados pela Eletrobrás (2003). Ainda assim, os resultados obtidos foram satisfatórios.

Todas as seções foram analisadas no software Slide v6.0, e os cálculos de estabilidade foram realizados considerando a metodologia proposta por Bishop (1955), Janbu, GLE (Morgenstern-Price) e Spencer. Os FS obtidos foram comparados aos recomendados nas bibliografias de referência.

As análises foram realizadas em termos de superfícies mínimas globais para todas as seções. Ainda, para as seções em que as zonas externas são compostas de material não coesivo, foram impostas as condições de profundidade mínima da cunha de ruptura, de modo a obter superfícies que mobilizassem não somente as camadas mais superficiais do enrocamento.

As simulações indicaram que, para os parâmetros e condições analisados neste estudo, todas as seções apresentam fatores de segurança iguais ou superiores aos recomendados pela Eletrobrás (2003). Assim, pode-se concluir que as condições de estabilidade das barragens de terra e enrocamento da UHE Caçu estão de acordo com as recomendações de referência, considerando as condições de carregamento analisadas neste estudo.

Ainda, a estabilidade das seções consideradas críticas (FS no limite do recomendado pela Eletrobrás) foi confirmada com a adoção de parâmetros de resistência pouco realistas. As análises dessas seções indicaram que, mesmo considerando a situação menos favorável para a segurança da barragem, com parâmetros de resistência que não retratam a resistência média da cunha de ruptura, a barragem ainda estaria segura, com fatores de segurança iguais ou superiores a 1,0.

5 RECOMENDAÇÕES

No decorrer dos estudos foram constatadas algumas necessidades de melhorias na documentação e instrumentação da UHE Caçu. Com base nestes pontos, foram elaboradas as seguintes recomendações:

-
- É recomendada a instalação de instrumentos de monitoramento de nível d'água nas seções em que não há tal informação; e
 - Recomenda-se a instalação de um instrumento na região do tapete de drenagem da estaca 8+0,0 m, que possibilite a avaliação da freática no talude de jusante da seção.

6 DOCUMENTOS UTILIZADOS

- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Planta. Nº 600-CAC-DES-ISBT-0001;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Seções e Detalhe. Nº 600-CAC-DES-ISBT-0002;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço Até a Est. 35+00 – Instrumentação – Planta. Nº 600-CAC-DES-ISBT-0010;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço Até a Est. 35+00 – Instrumentação – Seções. Nº 600-CAC-DES-ISBT-0011;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço Até a Est. 35+00 – Instrumentação – Seções. Nº 600-CAC-DES-ISBT-0012;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço Até a Est. 35+00 – Instrumentação – Seções. Nº 600-CAC-DES-ISBT-0013;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço Até a Est. 35+00 – Instrumentação – Seções. Nº 600-CAC-DES-ISBT-0014;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Margem Direita – Instrumentação – Plantas. Nº 600-CAC-DES-ISBT-0020;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Margem Direita – Instrumentação – Seções e Detalhe. Nº 600-CAC-DES-ISBT-0021;
- Reavaliação da Instrumentação de Auscultação Civil – UHE Caçu. Relatório ISB/BAC 015/17;
- Relatório Técnico – UHEs Caçu e O. Nº C384-22-5-2018;
- Relatórios dos Serviços da Cortina de Injeção na UHE Caçu – Caçu-GO;
- Investigações Geológico-Geotécnicas – UHE Caçu - Relatórios das Sondagens;
- Memórias de Cálculo da Estabilidade das Estruturas – Projeto Básico – UHE Caçu. Nº8958-00-3(F, G e H)-MC-0001;

REFERÊNCIAS

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobrás, Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas, 2003.

CRAIG, R. F. Mecânicas dos Solos. Tradução de Amir Kurban. 7ª ed. LTC Editora S.A., Rio de Janeiro, RJ, 2007.

DAS, Braja M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. 1ª Edição. Cengage Learning BR., 2011.

PEREIRA, G. M. Projeto de Usinas Hidrelétricas passo a passo. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2015.



Código: 600-CAC-RT-RES-REV_4

Título: Estudo de Estabilidade Global das Estruturas de Terra e Enrocamento

Páginas: 94 de 131 Emissão: 22/11/22



APÊNDICE

Apêndice 1. LIMITES DE INSTRUMENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Esta documentação técnica faz referência à reavaliação e atualização dos limites dos instrumentos de monitoramento da Barragem de Terra e Enrocamento da Margem Direita e da Margem Esquerda da UHE Caçu. A análise está correlacionada ao Estudo de Estabilidade Global das Estruturas Cíveis (600-CAC-RT-RES-REV_4).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	96
2	OBJETIVO	96
3	ANÁLISE DOS LIMITES DOS INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO	97
3.1	ANÁLISES	97
3.2	PARÂMETROS DOS MATERIAIS	97
3.3	SEÇÕES ANALISADAS	98
3.3.1	Barragem de Terra – Margem Direita	101
3.3.1.1	Estaca 5+0,0 m.....	101
3.3.1.2	Estaca 7+0,0 m.....	103
3.3.1.3	Estaca 8+4,0 m.....	105
3.3.2	Barragem de Terra – Margem Esquerda	107
3.3.2.1	Estaca 20+12,0 m.....	107
3.3.2.2	Estaca 21+12,0 m.....	109
3.3.2.3	Estaca 23+10,0 m.....	111
3.3.2.4	Estaca 25+0,0 m.....	113
3.3.2.5	Estaca 30+0,0 m.....	116
3.3.2.6	Estaca 33+10,0 m.....	118
3.3.2.7	Estaca 36+16,0 m.....	120
3.3.2.8	Estaca 41+6,0 m.....	122
3.3.2.9	Estaca 46+5,0 m.....	124
4	CONCLUSÃO.....	127
5	DOCUMENTOS UTILIZADOS.....	129
	REFERÊNCIAS.....	130

1 INTRODUÇÃO

No presente documento estão apresentados os novos valores limites para os instrumentos de monitoramento localizados na barragem de terra e enrocamento da UHE Caçu.

Para a elaboração desta documentação técnica, foram utilizadas informações de projeto (Básico, Básico Consolidado, Executivo e Como Construído) as respostas dos instrumentos e as informações coletadas em campo pela Fractal Engenharia e Sistemas.

Este estudo levou em consideração as normas brasileiras vigentes, bem como os Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas (Eletrobrás, 2003). A fim de auxiliar nos cálculos foram utilizados softwares específicos e planilhas eletrônicas.

A posição de instalação da instrumentação foi revisada e referenciada conforme o Projeto As Is da barragem, bem como da instrumentação.

2 OBJETIVO

São objetivos deste estudo, a revisão dos níveis de normalidade operacional, Atenção e Emergência dos instrumentos de monitoramento, de modo a melhor compreender e acompanhar o comportamento da estrutura.

3 ANÁLISE DOS LIMITES DOS INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO

3.1 ANÁLISES

As análises foram realizadas com base no comportamento dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, a partir dos resultados de ensaios de laboratório, além da utilização dos resultados dos instrumentos (medidores de nível d'água e piezômetros de tubo) com a elevação do nível d'água e a elevação da poropressão nos pontos monitorados.

Nas análises realizadas foi utilizado o valor das últimas leituras de pressão dos instrumentos (data do relatório) e calculados os valores de parâmetro de poropressão (fator adimensional que correlaciona a poropressão de cada ponto com o produto do peso específico do solo e profundidade de instalação) de cada camada do maciço e fundação. Desta forma, foram analisadas as seções com o nível d'água dos NAs e com variações de pressão na camada onde o instrumento (PZ) estava instalado, sendo assim possível a variação de pressão e verificação da alteração dos FS para cada condição de leitura. Assim, foram obtidas as pressões de atenção e alerta para os piezômetros e convertidas estas pressões para leituras em cota, compatibilizando com as planilhas de leitura utilizadas.

3.2 PARÂMETROS DOS MATERIAIS

Os parâmetros dos materiais adotados na atualização dos limites de controle foram os parâmetros considerados na atualização do estudo de estabilidade global, reavaliados considerando as características geotécnicas dos materiais.

Os valores dos parâmetros são apresentados na Tabela 5.

Tabela 34. Parâmetros de projeto dos materiais constituintes das estruturas de Terra.

TIPO	MATERIAL	Parâmetros de Resistência						PERMEABILIDADE k (m/s)
		γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kPa)	JRC	JCS (kN/m ²)	ϕ_r (°)	
FUNDAÇÃO	Solo Coluvionar	15,2	27,5	8,5	-	-	-	2,0×10 ⁻⁶
	Solo Saprolítico	21,25	30,0	2,0	-	-	-	3,0×10 ⁻⁶
	Rocha Basáltica	20,00	-	-	2,0	175000	44,49	1,0×10 ⁻⁵
	Rocha de Basalto (BB, BVA, BD)	20,0	-	-	1,5	260000	44,49	1,0×10 ⁻⁷
MACIÇO	Filtro de Areia Fina (Af)	17,0	31,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻⁴
	Transição Ampla	17,0	33,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻⁴

TIPO	MATERIAL	Parâmetros de Resistência						PERMEABILIDADE k (m/s)
		γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kPa)	JRC	JCS (kN/m ²)	ϕ_r (°)	
	Transição Granular (TF) - pedrisco	17,0	35,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻³
	Transição Granular (TG) – brita 1	16,0	37,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻³
	Enrocamento	19,0	43,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻²
	Cascalho	18,0	33,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻²
	Brecha Basáltica	19,0	43,0	0,0	-	-	-	1,0×10 ⁻²
	Aterro Compactado	19,5	23,0	14,0	-	-	-	1,36×10 ⁻⁶

A Tabela 7 apresenta os parâmetros de resistência e de permeabilidade utilizados nos estudos de estabilidade das estruturas de terra e enrocamento da UHE Caçu.

Tabela 35. Parâmetros geotécnicos adotados nos modelos das estruturas de Terra e Enrocamento da UHE Caçu.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	JRC	JCS (kN/m ²)	Phir	KS (m/s)	K2/K1	K1 Angle
Basalto Vesiculo Amigdaloidal		20	Barton-Bandis			1.5	260000	44.49	1e-007	100	90
Rocha Basáltica		20	Barton-Bandis			2	175000	44.49	1e-005	100	90
Aterro compactado		19.5	Mohr-Coulomb	14	23				1.36e-006	15	90
Areia		17	Mohr-Coulomb	2	31				0.0001	10	90
Transicao fina		17	Mohr-Coulomb	0	35				0.001	5	90
Transicao grossa		16	Mohr-Coulomb	0	37				0.001	15	90
Enrocamento		19	Mohr-Coulomb	0	43				0.01	5	90
Cascalho		18	Mohr-Coulomb	0	33				0.01	5	90
Transicao ampla		17	Mohr-Coulomb	0	33				0.0001	10	90
Brecha basaltica compactada		19	Mohr-Coulomb	0	43				0.01	5	90
Colúvio		15.2	Mohr-Coulomb	8.5	27.5				2e-006	15	90

3.3 SEÇÕES ANALISADAS

O barramento da UHE Caçu é composto por estruturas de terra, enrocamento e concreto. A Figura 4 destaca a imagem das estruturas que compõem o aproveitamento.



Figura 104. Vista geral do empreendimento.

Fonte: FOTOS AÉREAS, KINROSS BRASIL MINERAÇÃO S.A (2020).

Para as análises de estabilidade das estruturas de terra e enrocamento da UHE Caçu foram escolhidas 12 seções de referência. A escolha foi embasada nas condições geométricas das estruturas, bem como na existência de instrumentação.

Nas Figura 5, Figura 6 e Figura 7 estão indicadas as posições dessas seções em planta.

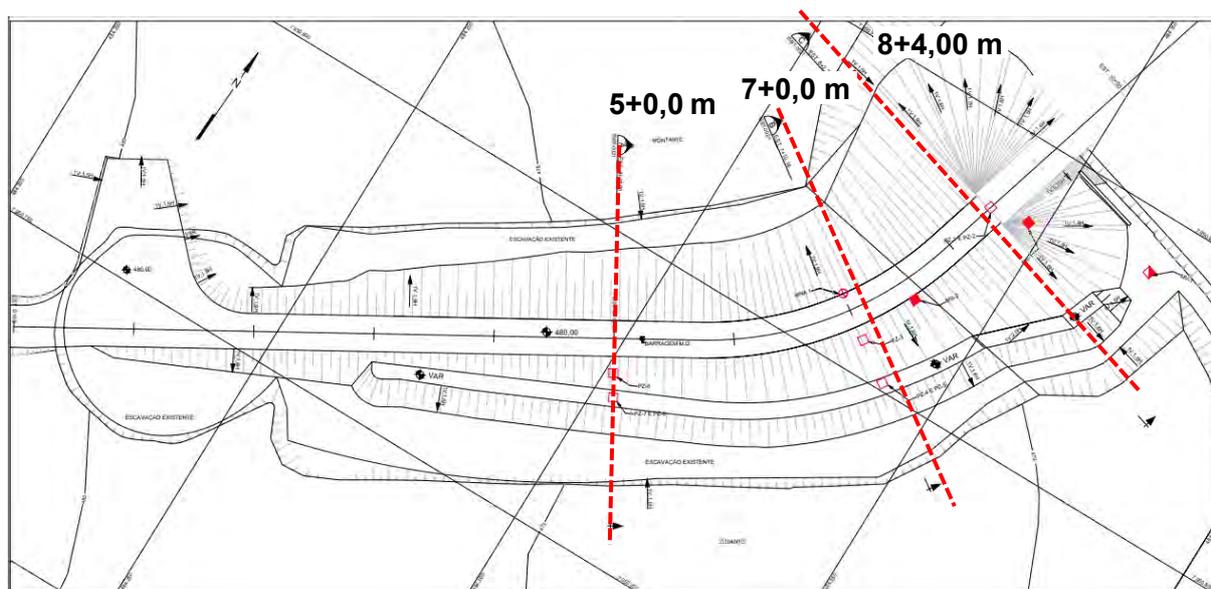
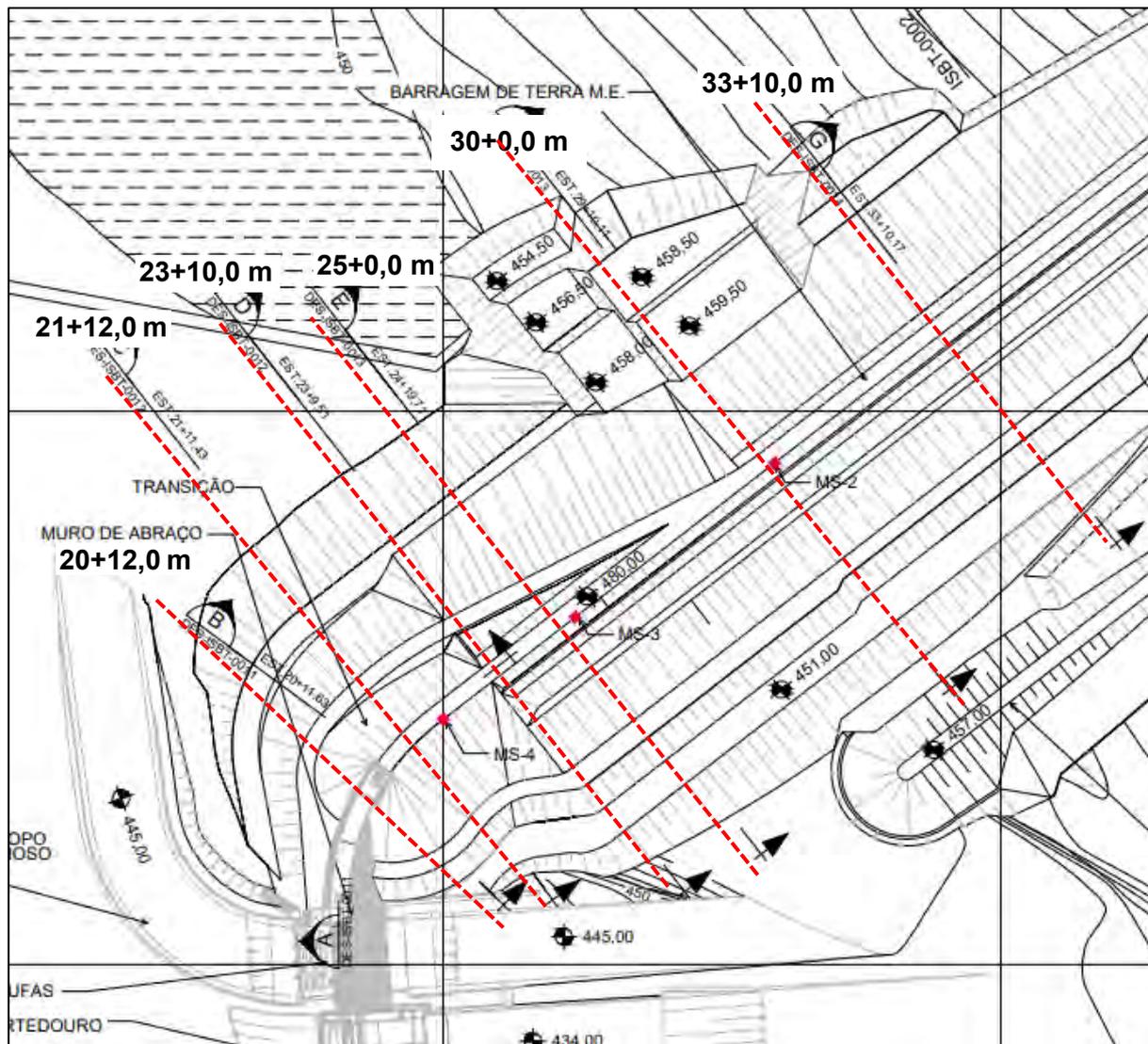
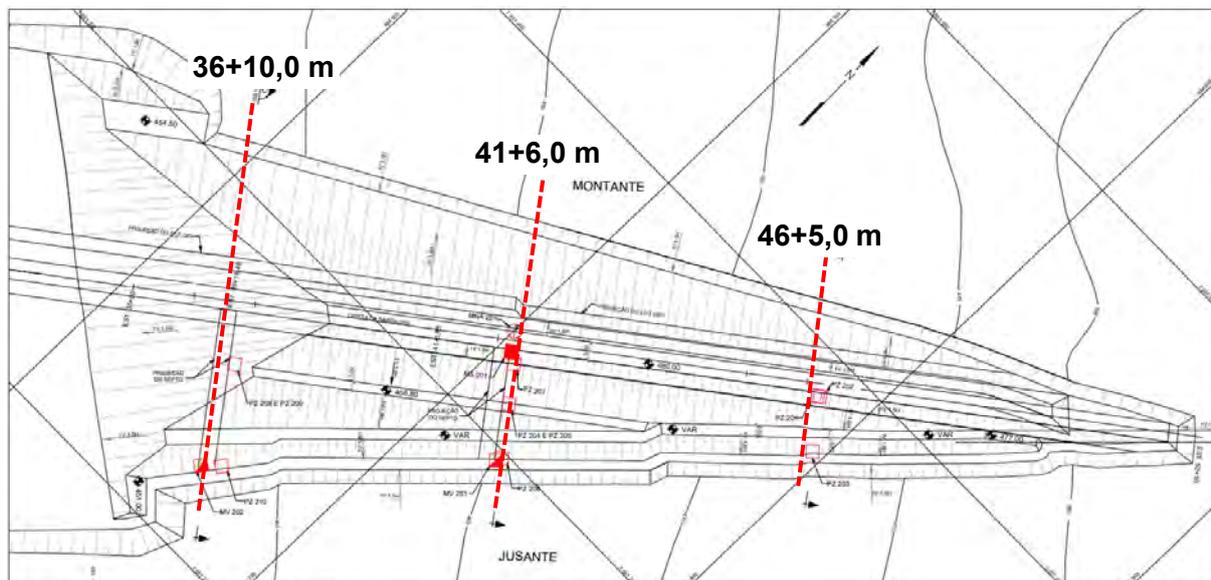


Figura 105. Seções utilizadas nas análises (BTMD).

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu– Barragem de Terra – Margem Direita – Instrumentação - Plantas (600-CAC-DES-ISBT-0020).

**Figura 106. Seções utilizadas nas análises (BTME).**

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Marcos Fixos – Planta de Locação (600-CAC-DES-ISBT-0040).

**Figura 107. Seções utilizadas nas análises (BTME).**

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação - Planta (600-CAC-DES-ISBT-0001).

Portanto, na Barragem de Terra e Enrocamento da Margem Direita da UHE Caçu, foram analisadas 3 (três) seções instrumentadas e, na Barragem de Terra e Enrocamento da Margem Esquerda da UHE Caçu, foram analisadas 12 (doze) seções instrumentadas:

- BTMD:
 - Estaca 5+0,0 m;
 - Estaca 7+0,0 m;
 - Estaca 8+4,0 m;
- BTME:
 - Estaca 20+12,0 m;
 - Estaca 21+12,0 m;
 - Estaca 23+10,0 m;
 - Estaca 25+0,0 m;
 - Estaca 30+0,0 m;
 - Estaca 33+10,0 m;
 - Estaca 36+10,0 m;
 - Estaca 41+6,0 m;
 - Estaca 46+5,0 m.

As informações sobre os novos níveis de atenção e emergência estão apresentadas nos itens a seguir.

3.3.1 Barragem de Terra – Margem Direita

3.3.1.1 Estaca 5+0,0 m

A geometria da seção da estaca 5+0,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 8.

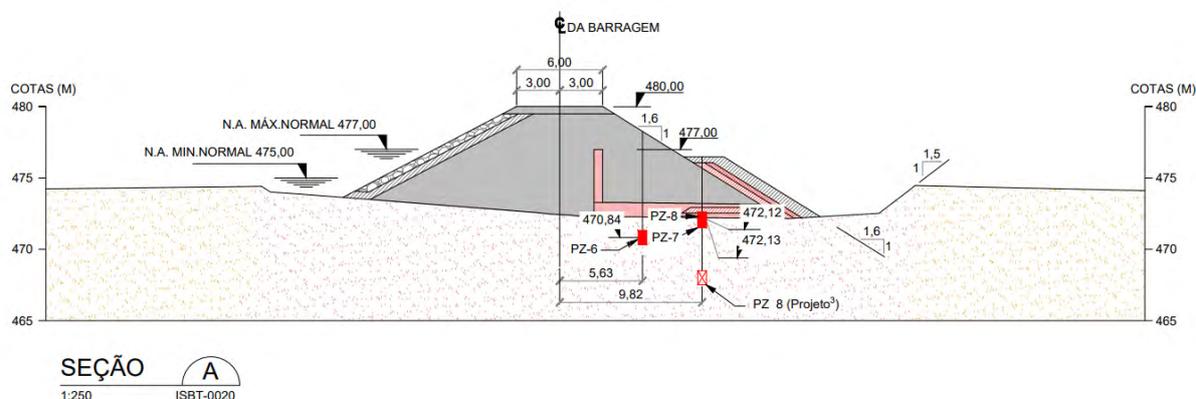


Figura 108. Seção da estaca 5 da BTMD.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Margem Direita – Instrumentação – Seções e Detalhe (600-CAC-DES-ISBT-0021).

Na seção da Est. 5+0,0 m estão instalados três piezômetros (PZ-06, PZ-07 e PZ-08). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 36. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 5.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ – 06	470,84	479,54
PZ – 07*	472,13	477,20
PZ - 08	472,12	477,20

*Nota: instrumento danificado;

A Figura 109 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

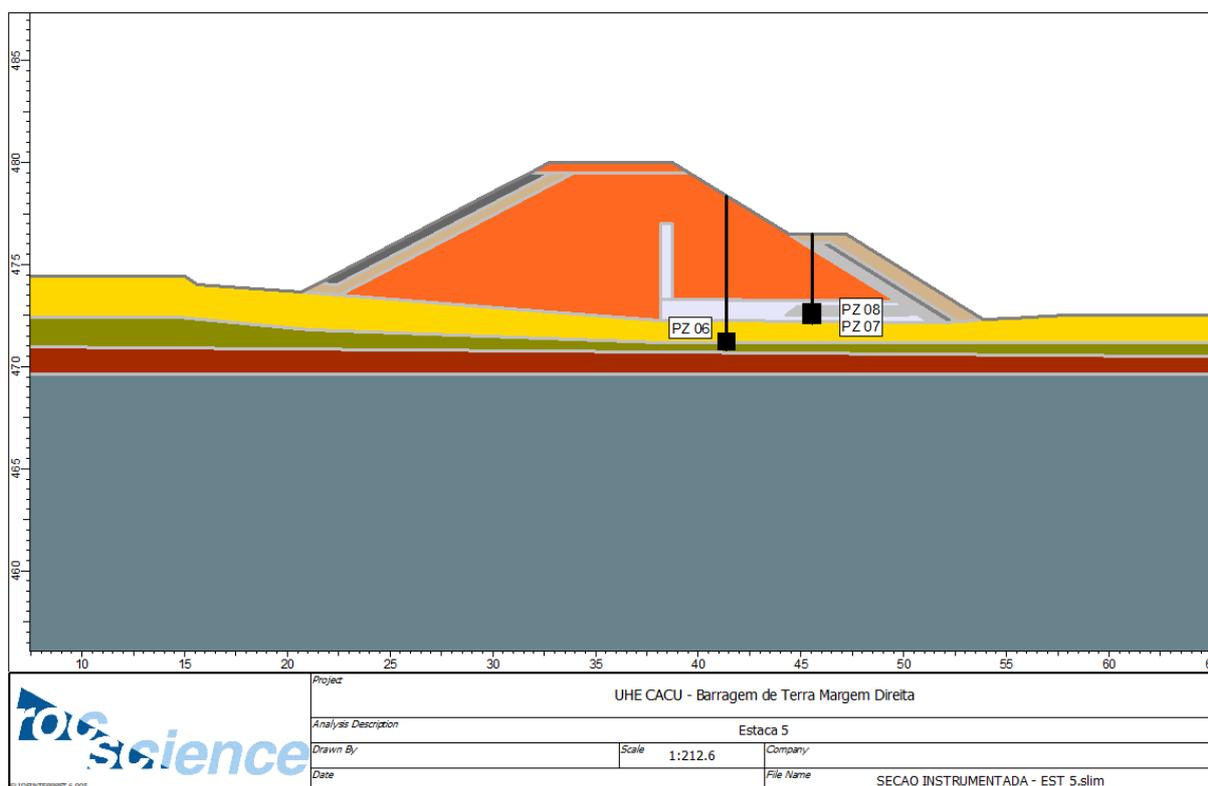


Figura 109. Instrumentos localizados na seção da Estaca 5.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 5:

- **PZ 06:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 37,5 kPa. Entre os valores de poropressão de 37,5 kPa a 48,2 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 48,2 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 07:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 23,8 kPa. Entre os valores de

poropressão de 23,8 kPa a 28,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 28,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);

- **PZ 08:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 23,8 kPa. Entre os valores de poropressão de 23,8 kPa a 28,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 28,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

3.3.1.2 Estaca 7+0,0 m

A geometria da seção da estaca 7+0,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 16.

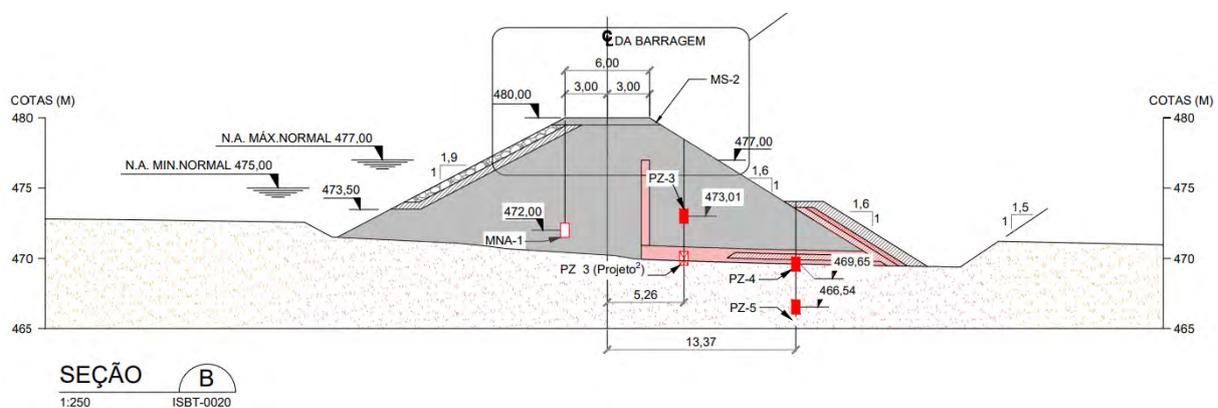


Figura 110. Seção da estaca 7 da BTMD.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Margem Direita – Instrumentação – Seções e Detalhe (600-CAC-DES-ISBT-0021).

Na seção da Est. 7+0,0 m estão instalados três piezômetros (PZ-03, PZ-04 e PZ-05) e um instrumento medidor de nível d’água (MNA-01). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 37.

Tabela 37. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 7.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ – 03*	473,01	479,40
PZ – 04	469,65	475,04
PZ - 05	466,54	475,04
MNA-01	472,00	480,08

*Nota: instrumento obstruído.

A Figura 111 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

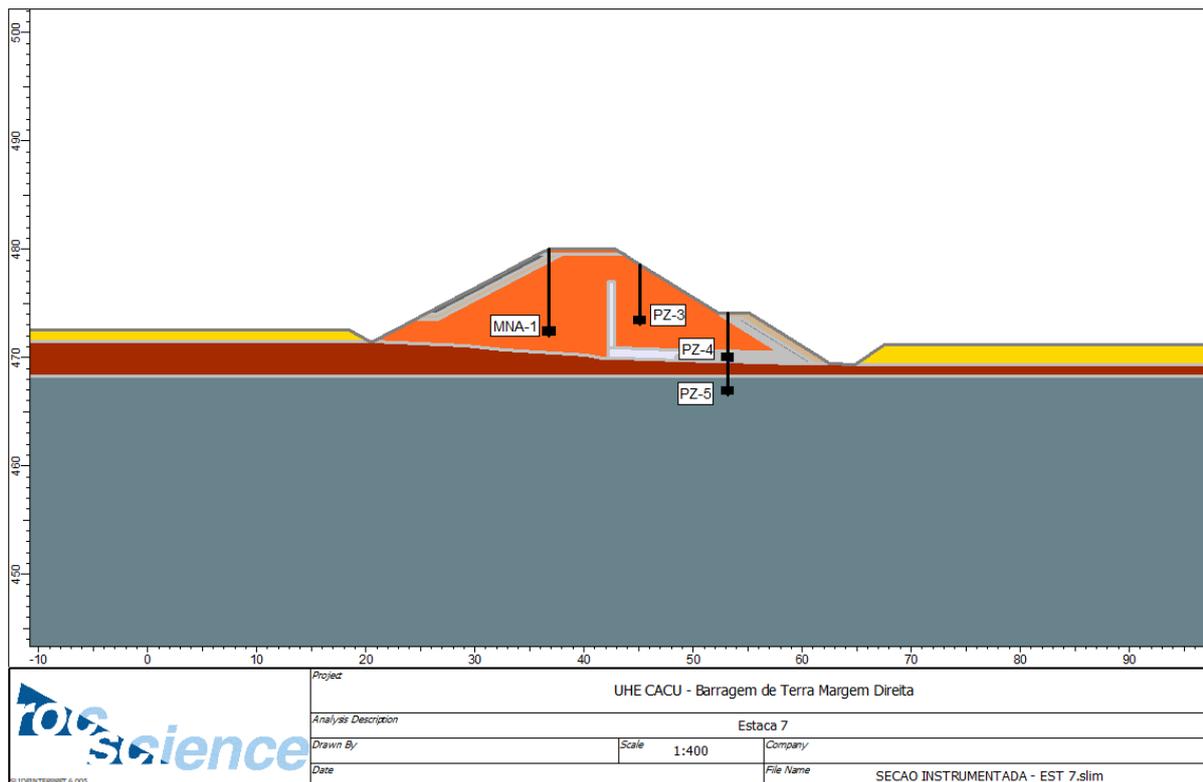


Figura 111. Instrumentos localizados na seção da Estaca 7.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 7:

- **PZ 03:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 15,0 kPa. Entre os valores de poropressão de 15,0 kPa a 20,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 20,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 04:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 16,6 kPa. Entre os valores de poropressão de 16,6 kPa a 22,2 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 22,2 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 05:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 46,4 kPa. Entre os valores de poropressão de 46,4 kPa a 53,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de

53,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho); e

- **MNA-01:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de coluna d'água de até 3,7 m.c.a. Entre os valores de 3,7 m.c.a a 4,7 m.c.a, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores acima de 4,7 m.c.a, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

3.3.1.3 Estaca 8+4,0 m

A geometria da seção da estaca 8+4,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 24.

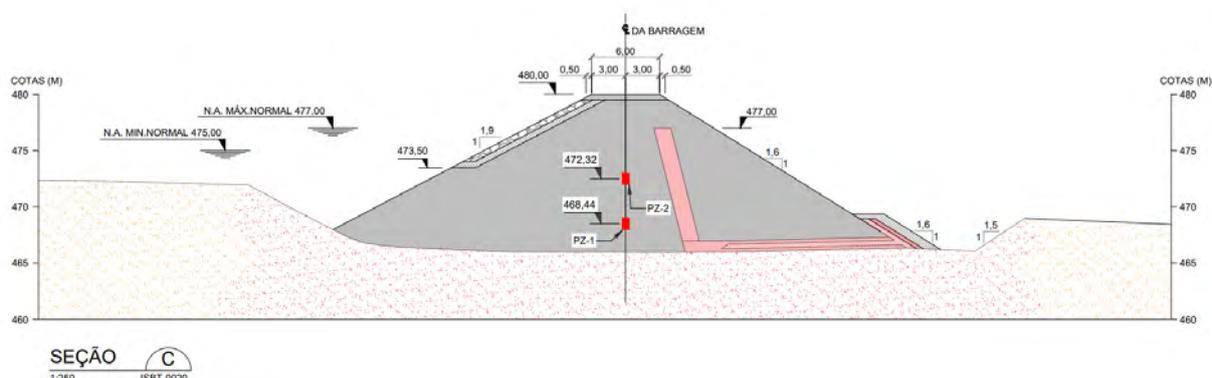


Figura 112. Seção da estaca 8+4,00 m da BTMD.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Margem Direita – Instrumentação – Seções e Detalhe (600-CAC-DES-ISBT-0021).

Na seção da Est. 8+4,0 m estão instalados dois piezômetros (PZ-01 e PZ-02). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 38.

Tabela 38. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 8+4,00.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ – 01	468,44	480,05
PZ – 02	472,32	480,06

A Figura 113 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

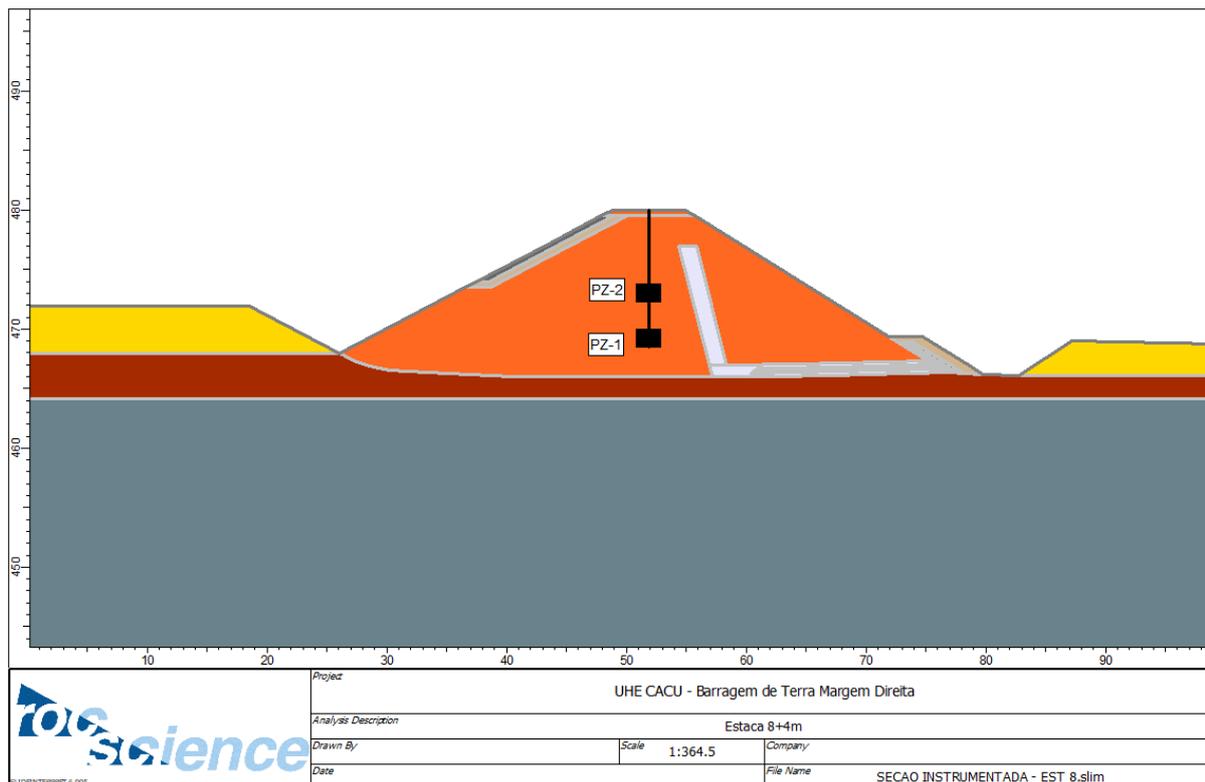


Figura 113. Instrumentos localizados na seção da Estaca 8+4.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 8+4:

- PZ 01:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 65,8 kPa. Entre os valores de poropressão de 65,8 kPa a 77,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 77,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho); e
- PZ 02:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 29,6 kPa. Entre os valores de poropressão de 29,6 kPa a 35,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 35,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

3.3.2 Barragem de Terra – Margem Esquerda

3.3.2.1 Estaca 20+12,0 m

A geometria da seção da estaca 20+12,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 32.

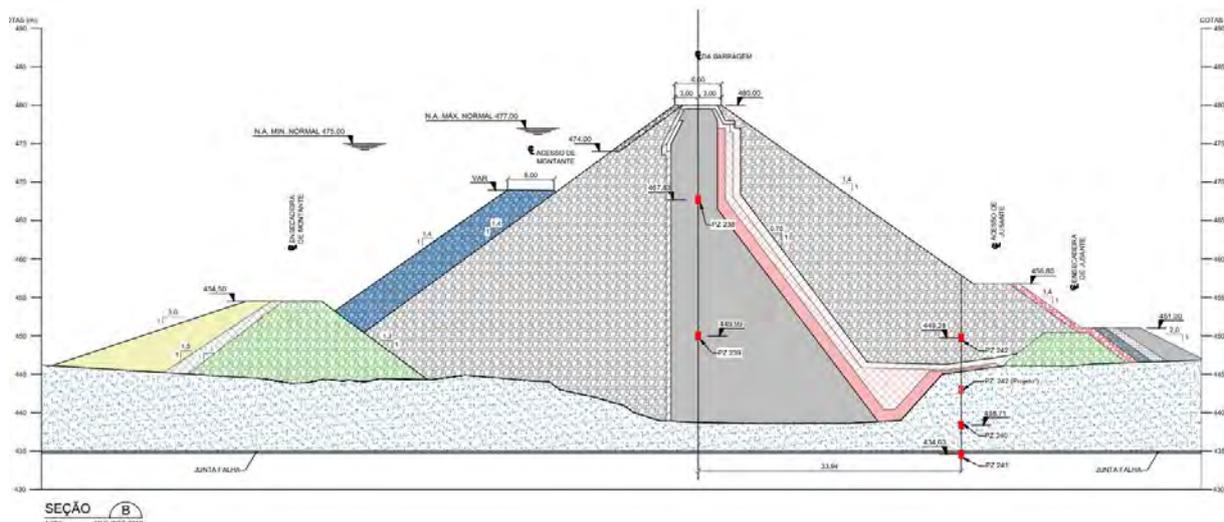


Figura 114. Seção da estaca 20+12,00 da BTME.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço até Est. 35+00 – Instrumentação (600-CAC-DES-ISBT-0011).

Na seção da Est. 20+12,0 m estão instalados quatro piezômetros operantes (PZ-238, PZ-239, PZ-240 e PZ-241) e um piezômetro que foi desativado em abril de 2022 (PZ-242). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 39.

Tabela 39. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 20+12.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ – 238	467,83	480,07
PZ – 239	449,99	480,06
PZ – 240	438,71	459,26
PZ – 241	434,63	459,25
PZ – 242*	449,28	459,25

*Nota: instrumento desativado.

A Figura 115 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

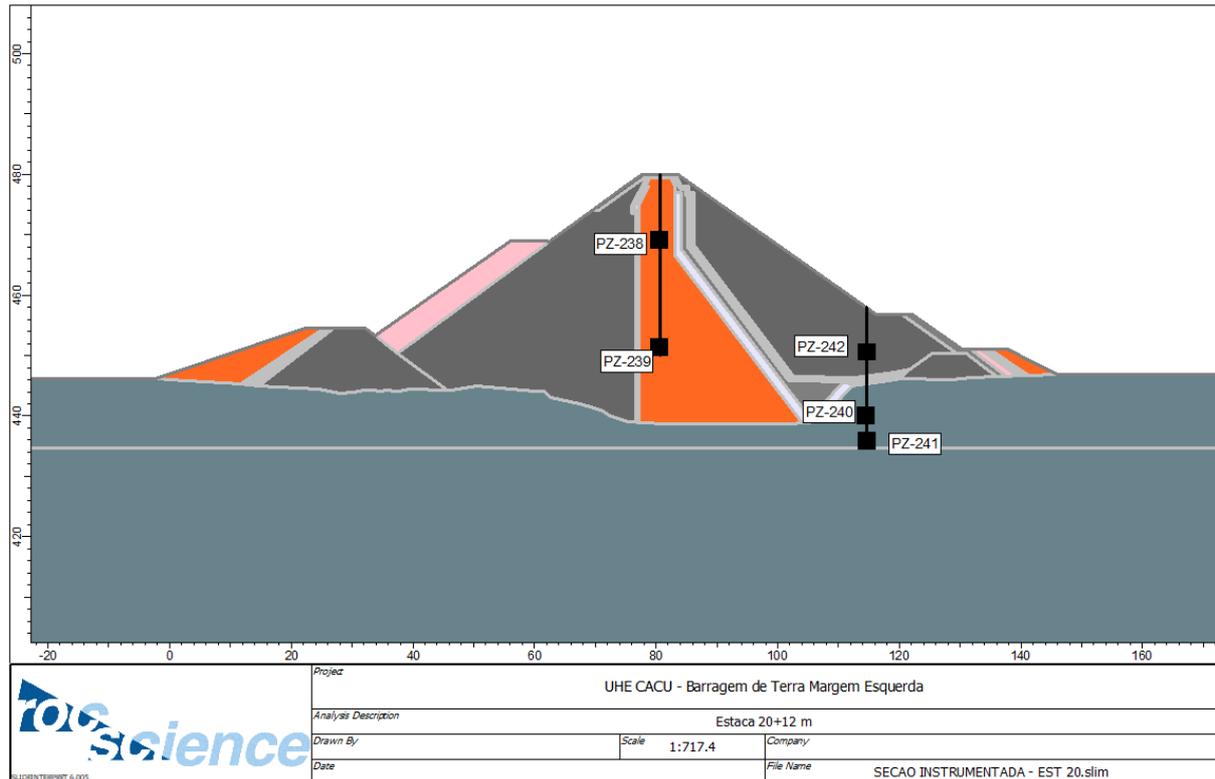


Figura 115. Instrumentos localizados na seção da Estaca 20+12.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 20+12:

- **PZ 238:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 41,7 kPa. Entre os valores de poropressão de 41,7 kPa a 49,4 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 49,4 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 239:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 163,0 kPa. Entre os valores de poropressão de 163,0 kPa a 217,4 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 217,4 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 240:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 117,5 kPa. Entre os valores de poropressão de 117,5 kPa a 142,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de

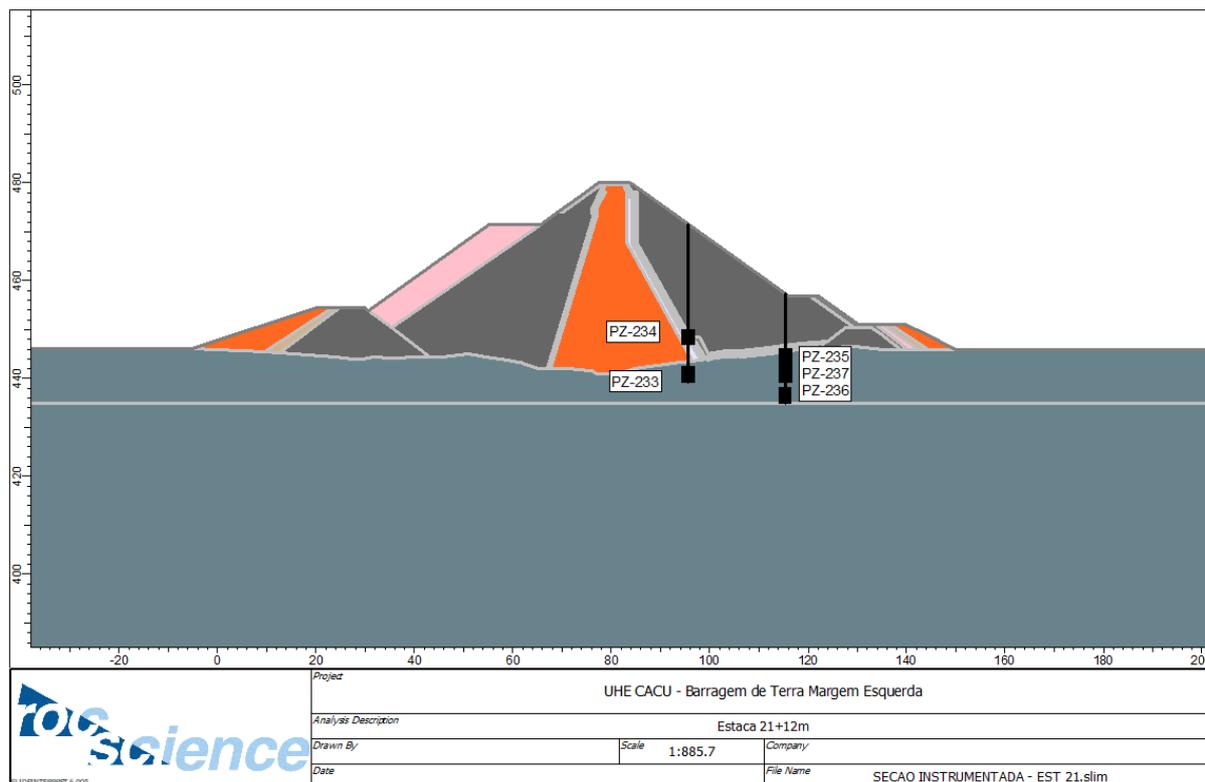


Figura 117. Instrumentos localizados na seção da Estaca 21+12.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 21+12:

- **PZ 233:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 134,4 kPa. Entre os valores de poropressão de 134,4 kPa a 163,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 163,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 234:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 54,4 kPa. Entre os valores de poropressão de 54,4 kPa a 64,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 64,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 235:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 85,4 kPa. Entre os valores de poropressão de 85,4 kPa a 103,8 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em

nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 103,8 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);

- **PZ 236:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 158,6 kPa. Entre os valores de poropressão de 158,6 kPa a 192,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 192,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho); e
- **PZ 237:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 118,4 kPa. Entre os valores de poropressão de 118,4 kPa a 144,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 144,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

3.3.2.3 Estaca 23+10,0 m

A geometria da seção da estaca 23+10,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 48.

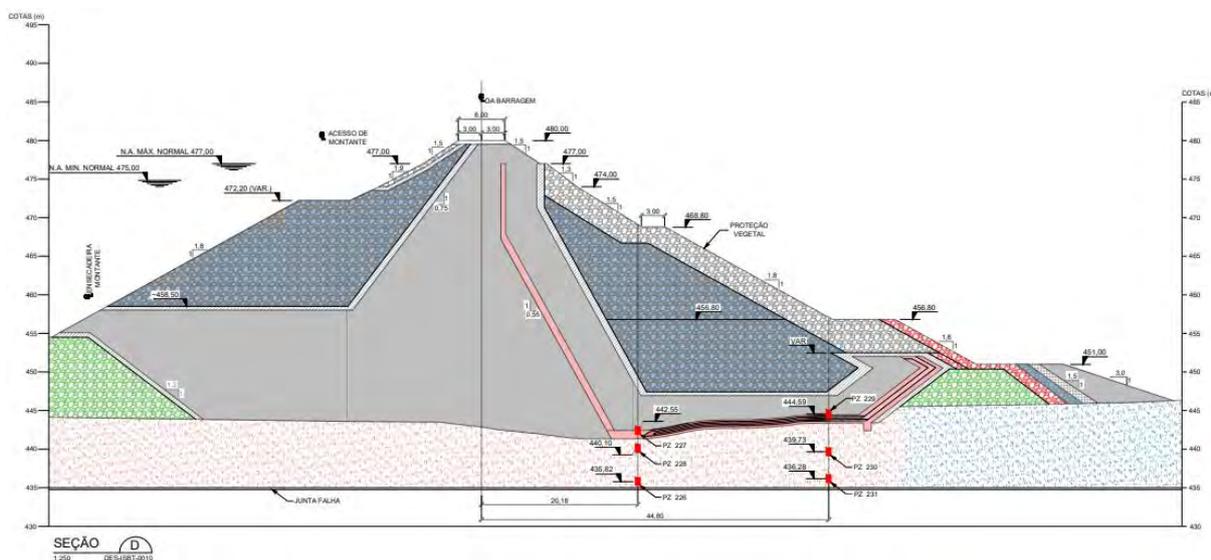


Figura 118. Seção da estaca 23+10,00 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço até a Est. 35+00 – Instrumentação – Seções (600-CAC-DES-ISBT-0012).

Na seção da Est. 23+10,0 m estão instalados seis piezômetros (PZ-226, PZ-227, PZ-228, PZ-229, PZ-230 e PZ-31). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 41.

Tabela 41. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 23+10,00.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ – 226	435,82	470,49
PZ – 227	442,55	470,49
PZ – 228	440,10	470,49
PZ – 229	444,59	459,00
PZ – 230	439,73	459,00
PZ – 231	436,28	459,00

A Figura 119 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

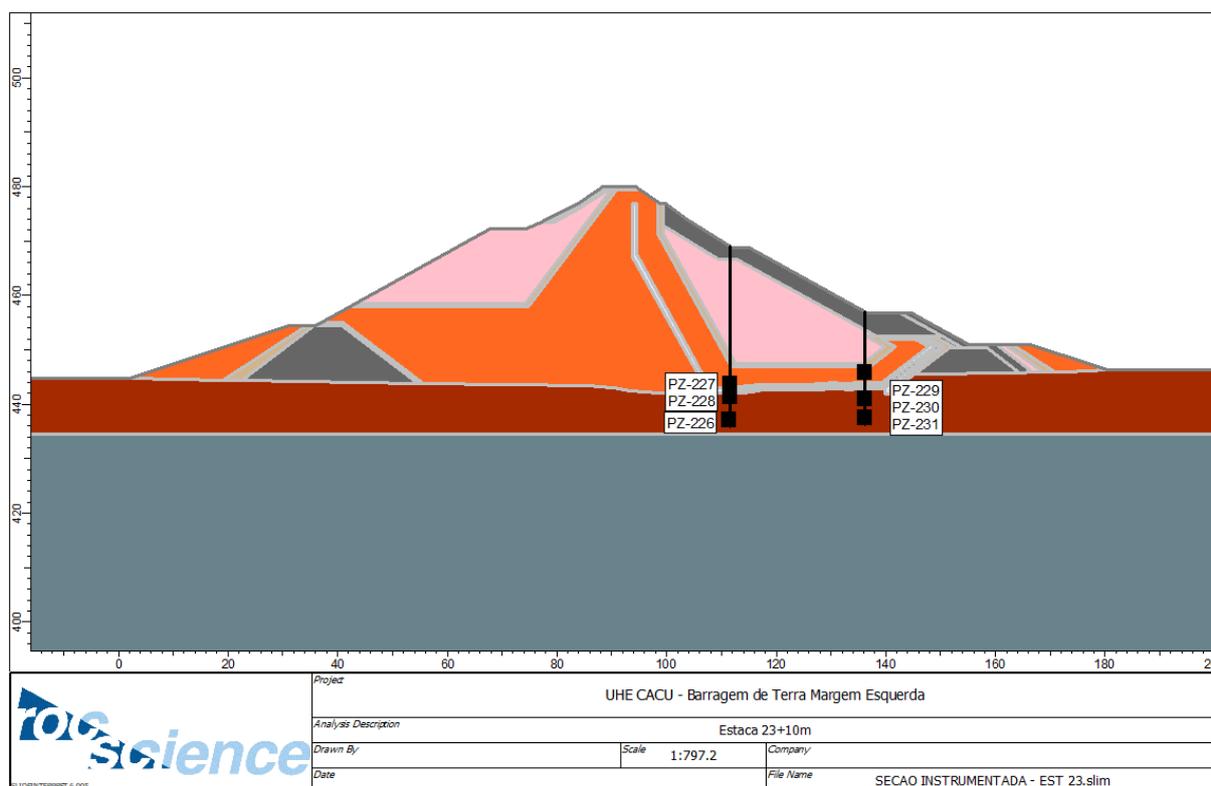


Figura 119. Instrumentos localizados na seção da Estaca 23+10.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 23+10:

- PZ 226:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 166,5 kPa. Entre os valores de poropressão de 166,5 kPa a 202,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 202,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);

- **PZ 227:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 103,6 kPa. Entre os valores de poropressão de 103,6 kPa a 126,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 126,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 228:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 126,7 kPa. Entre os valores de poropressão de 126,7 kPa a 154,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 154,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 229:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 69,4 kPa. Entre os valores de poropressão de 69,4 kPa a 84,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 84,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 230:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 115,8 kPa. Entre os valores de poropressão de 115,8 kPa a 140,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 140,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho); e
- **PZ 231:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 148,0 kPa. Entre os valores de poropressão de 148,0 kPa a 180,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 180,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

3.3.2.4 Estaca 25+0,0 m

A geometria da seção da estaca 25+0,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 56.

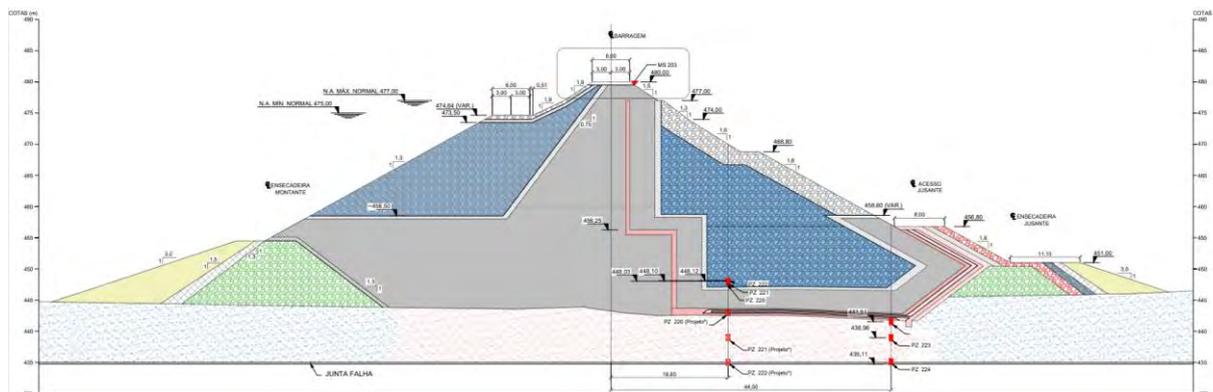


Figura 120. Seção da estaca 25 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço até EST. 35+0,00 – Instrumentação – Seções (600-CAC-DES-ISBT-0013).

Na seção da Est. 25+0,0 m estão instalados seis piezômetros (PZ-220, PZ-221, PZ-222, PZ-223, PZ-224 e PZ-225). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 42.

Tabela 42. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 25.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ – 220*	448,03	471,45
PZ – 221*	448,10	471,45
PZ – 222*	448,12	471,44
PZ – 223	438,96	459,10
PZ – 224	435,11	459,11
PZ – 225	441,51	459,11

*Nota: instrumentos danificados.

A Figura 121 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

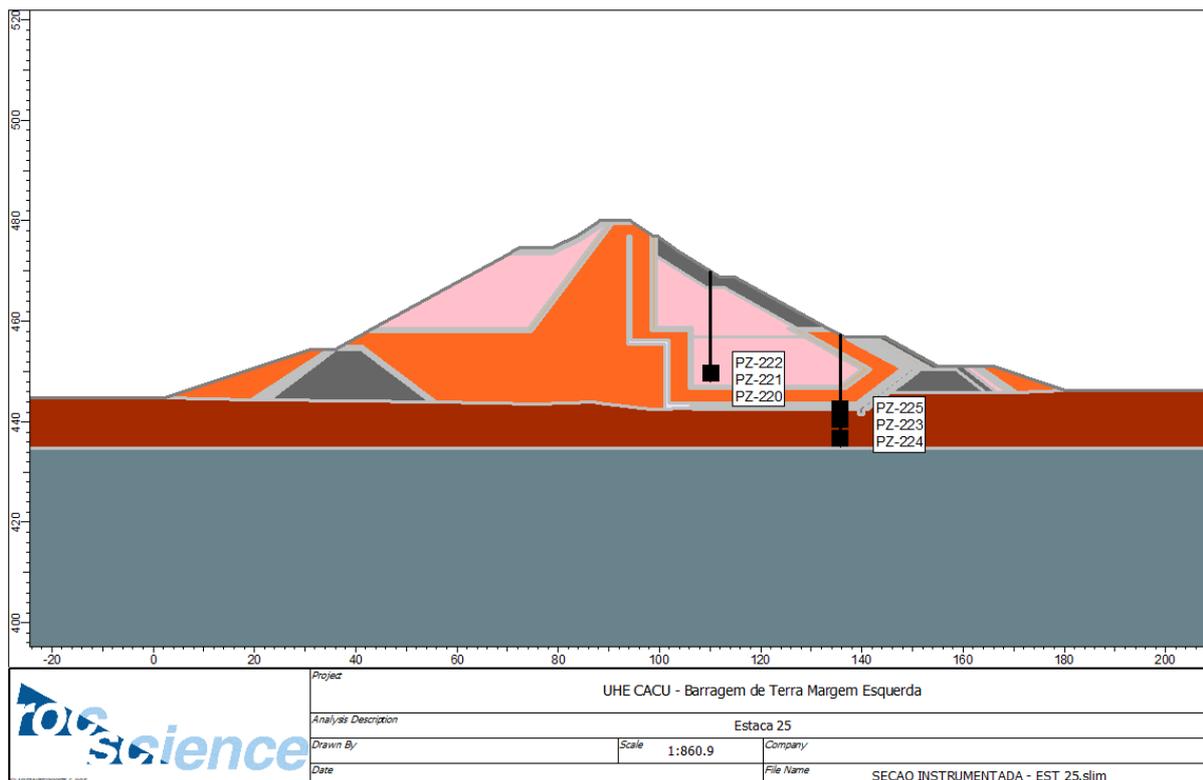


Figura 121. Instrumentos localizados na seção da Estaca 25+00.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 25+00:

- **PZ 220:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 65,0 kPa. Entre os valores de poropressão de 65,0 kPa a 79,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 79,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 221:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 65,0 kPa. Entre os valores de poropressão de 65,0 kPa a 79,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 79,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 222:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 65,0 kPa. Entre os valores de poropressão de 65,0 kPa a 79,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 79,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);

- **PZ 223:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 138,8 kPa. Entre os valores de poropressão de 138,8 kPa a 168,8 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 168,8 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 224:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 179,6 kPa. Entre os valores de poropressão de 179,6 kPa a 212,6 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 212,6 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho); e
- **PZ 225:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 115,6 kPa. Entre os valores de poropressão de 115,6 kPa a 140,6 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 140,6 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

3.3.2.5 Estaca 30+0,0 m

A geometria da seção da estaca 30+0,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 64.

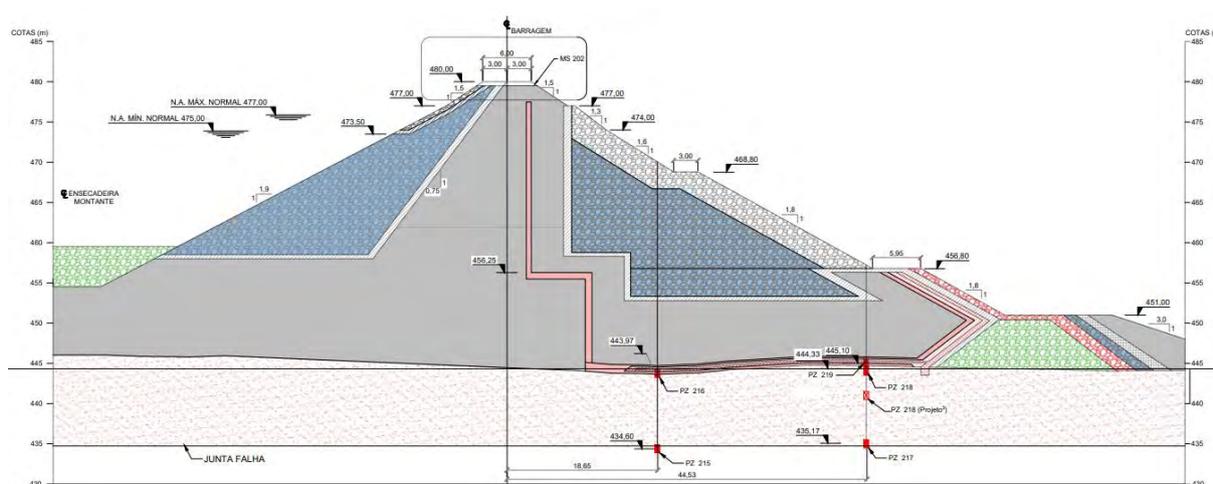


Figura 122. Seção da estaca 30 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço até EST. 35+0,00 – Instrumentação – Seções (600-CAC-DES-ISBT-0013).

Na seção da Est. 30+0,0 m estão instalados cinco piezômetros (PZ-215, PZ-216, PZ-217, PZ-218 e PZ-219). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 43.

Tabela 43. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 30.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ – 215	434,60	471,49
PZ – 216	443,97	471,49
PZ – 217	435,17	458,49
PZ – 218	444,33	458,49
PZ – 219	445,10	458,49

A Figura 123 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

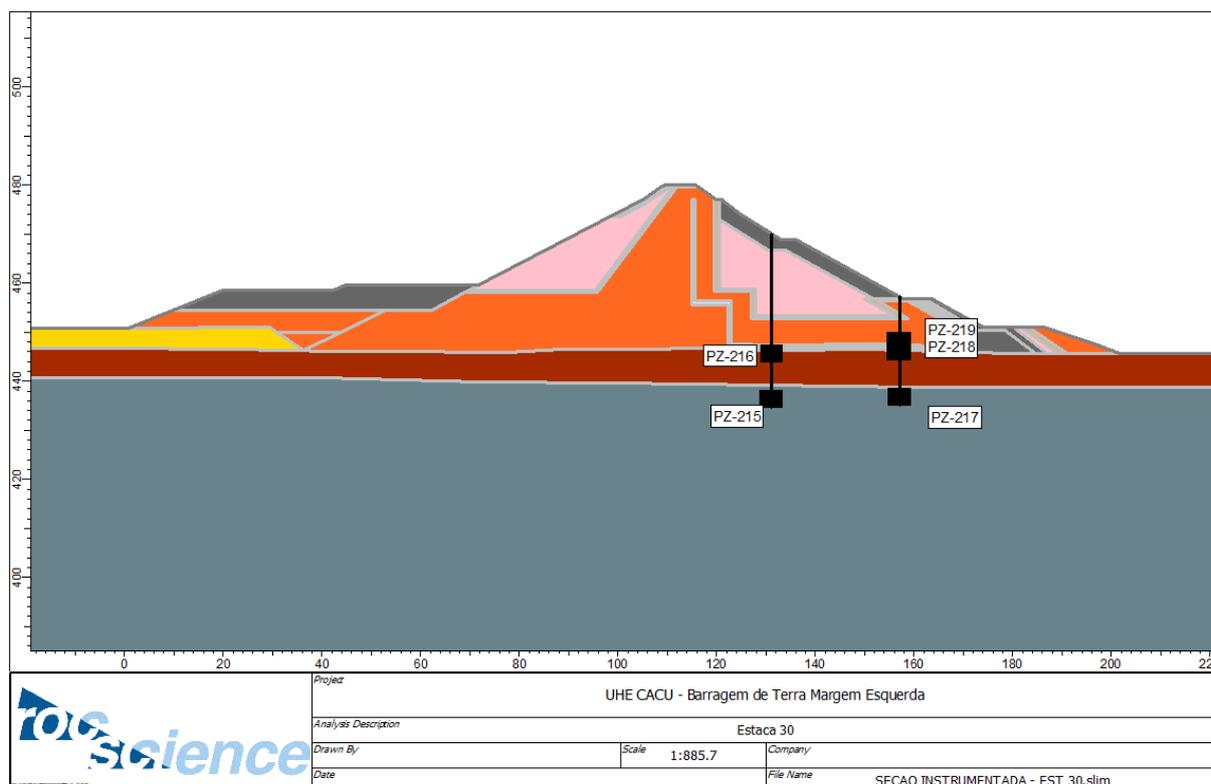


Figura 123. Instrumentos localizados na seção da Estaca 30.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 30:

- PZ 215:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 231,8 kPa. Entre os valores de poropressão de 231,8 kPa a 274,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 274,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);

- **PZ 216:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 138,8 kPa. Entre os valores de poropressão de 138,8 kPa a 168,8 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 168,8 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 217:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 189,4 kPa. Entre os valores de poropressão de 189,4 kPa a 230,3 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 230,3 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 218:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 104,6 kPa. Entre os valores de poropressão de 104,6 kPa a 127,2 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 127,2 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho); e
- **PZ 219:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 97,5 kPa. Entre os valores de poropressão de 97,5 kPa a 118,6 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 118,6 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

3.3.2.6 Estaca 33+10,0 m

A geometria da seção da estaca 33+10,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 72.

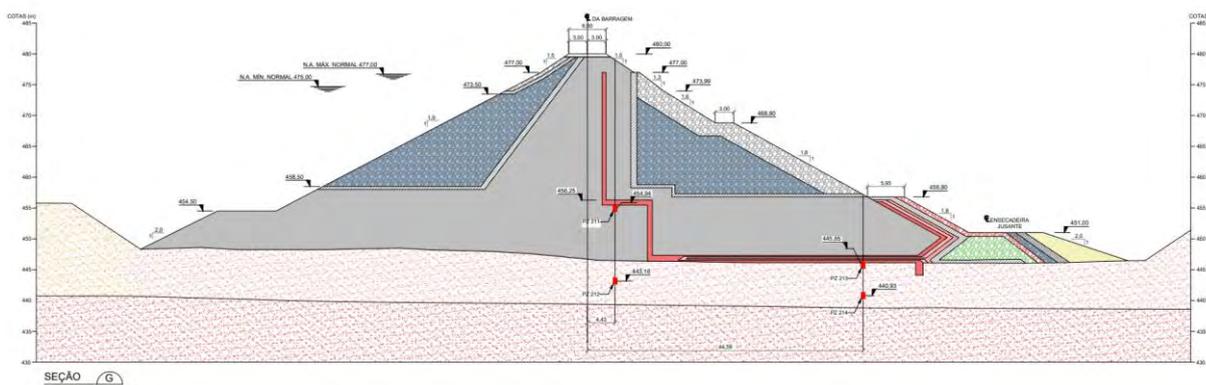


Figura 124. Seção da estaca 33+10 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Trecho do Abraço até EST. 35+0,00 – Instrumentação – Seções (600-CAC-DES-ISBT-0014).

Na seção da Est. 33+10,0 m estão instalados quatro piezômetros (PZ-211, PZ-212, PZ-213 e PZ-214). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 44.

Tabela 44. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 33+10,00.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ – 211	454,94	480,19
PZ – 212	443,16	480,2
PZ – 213	445,85	459,28
PZ – 214	440,93	459,28

A Figura 125 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

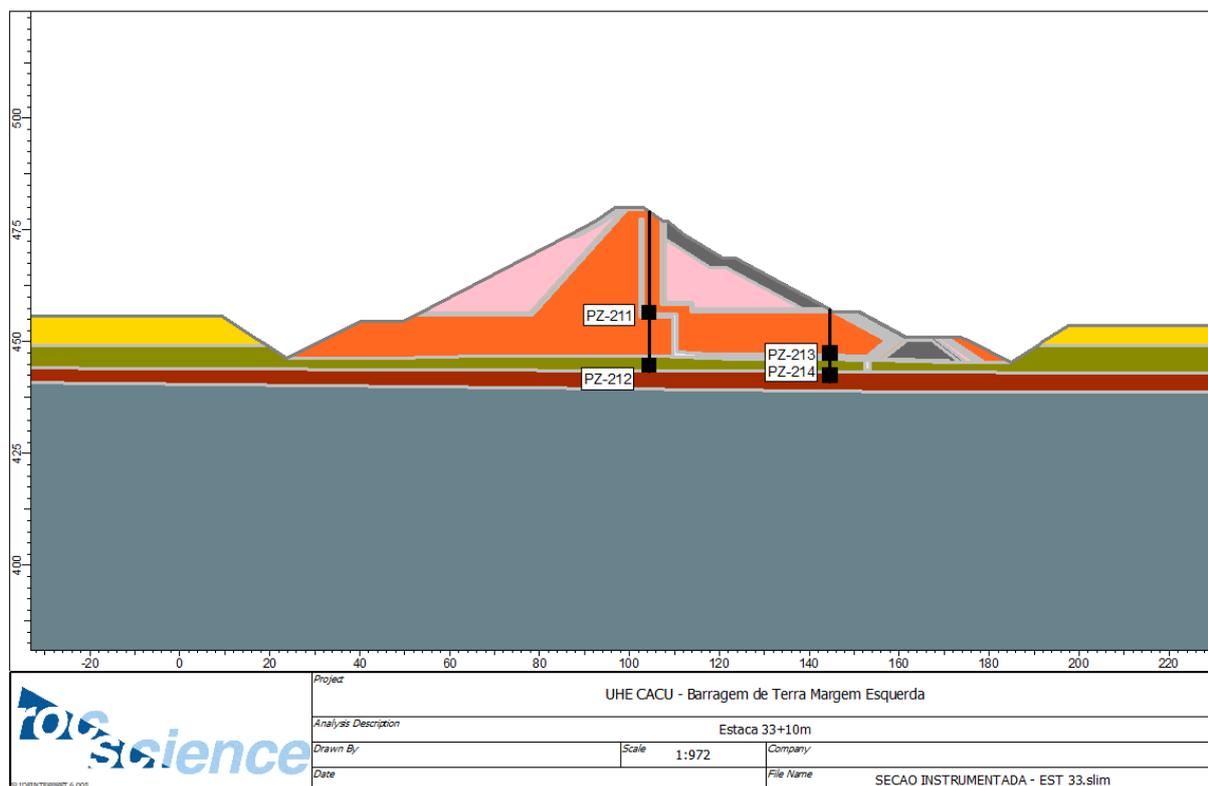


Figura 125. Instrumentos localizados na seção da Estaca 33+10.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 33+10:

- **PZ 211:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de propressão de até 43,9 kPa. Entre os valores de

poropressão de 43,9 kPa a 53,4 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 53,4 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);

- **PZ 212:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 145,7 kPa. Entre os valores de poropressão de 145,7 kPa a 187,3 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 187,3 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 213:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 47,9 kPa. Entre os valores de poropressão de 47,9 kPa a 52,6 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 52,6 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho); e
- **PZ 214:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 103,0 kPa. Entre os valores de poropressão de 103,0 kPa a 118,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 118,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

3.3.2.7 Estaca 36+16,0 m

A geometria da seção da estaca 36+16,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 80.

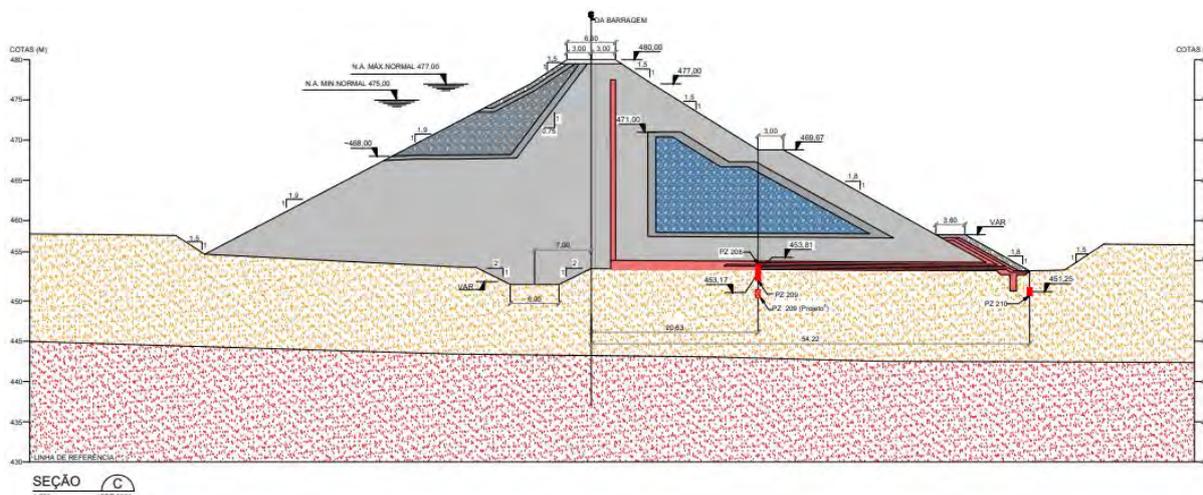


Figura 126. Seção da estaca 36+16 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Seções e detalhe (600-CAC-DES-ISBT-0002).

Na seção da Est. 36+16,0 m estão instalados três piezômetros (PZ-208, PZ-209 e PZ-210). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 45.

Tabela 45. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 36+16.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ – 208	453,81	469,72
PZ – 209*	453,17	469,73
PZ – 210	451,25	455,96

*Nota: instrumento danificado.

A Figura 127 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

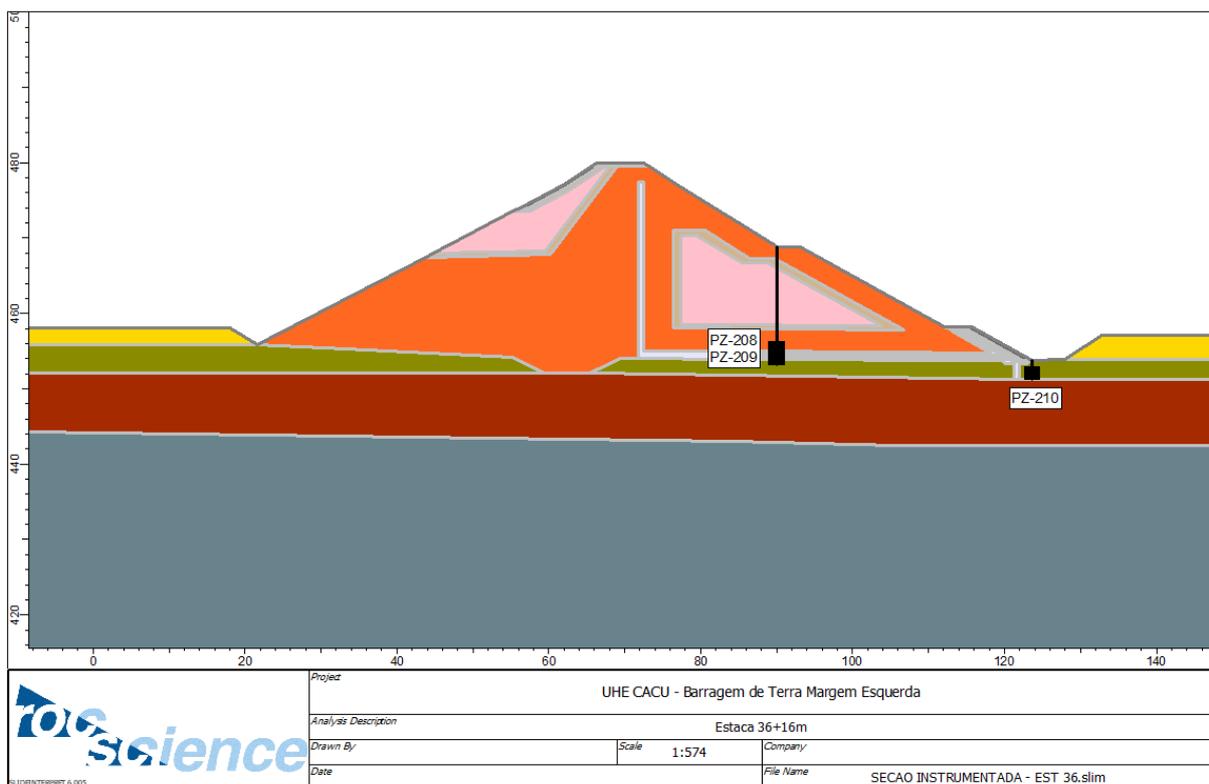


Figura 127. Instrumentos localizados na seção da Estaca 36+16.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 36+16:

- **PZ 208:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 32,3 kPa. Entre os valores de poropressão de 32,3 kPa a 38,3 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 38,3 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);

- **PZ 209:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 38,4 kPa. Entre os valores de poropressão de 38,4 kPa a 45,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 45,5 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho); e
- **PZ 210:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 35,3 kPa. Entre os valores de poropressão de 35,3 kPa a 47,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 47,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

3.3.2.8 Estaca 41+6,0 m

A geometria da seção da estaca 41+6,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 88.

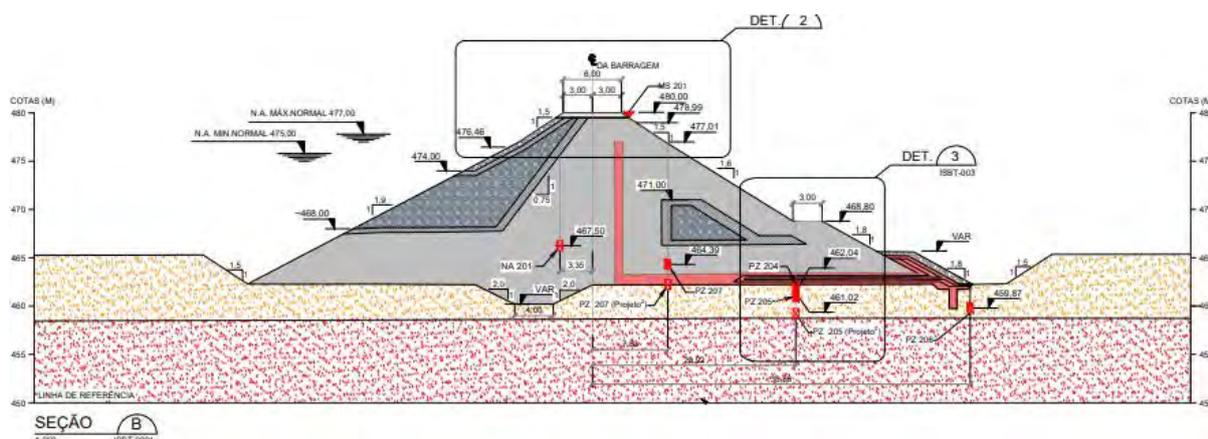


Figura 128. Seção da estaca 41+6,00 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Seções e detalhe (600-CAC-DES-ISBT-0002).

Na seção da Est. 41+6,0 m estão instalados quatro piezômetros (PZ-204, PZ-205, PZ-206 e PZ-207) e um instrumento medidor de nível d'água (NA-201). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 46.

Tabela 46. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 41+6.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ 204	462,04	469,52
PZ 205	461,02	469,53
PZ 206	459,87	463,82
PZ 207	464,39	477,08
NA 201	467,50	480,11

A Figura 129 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

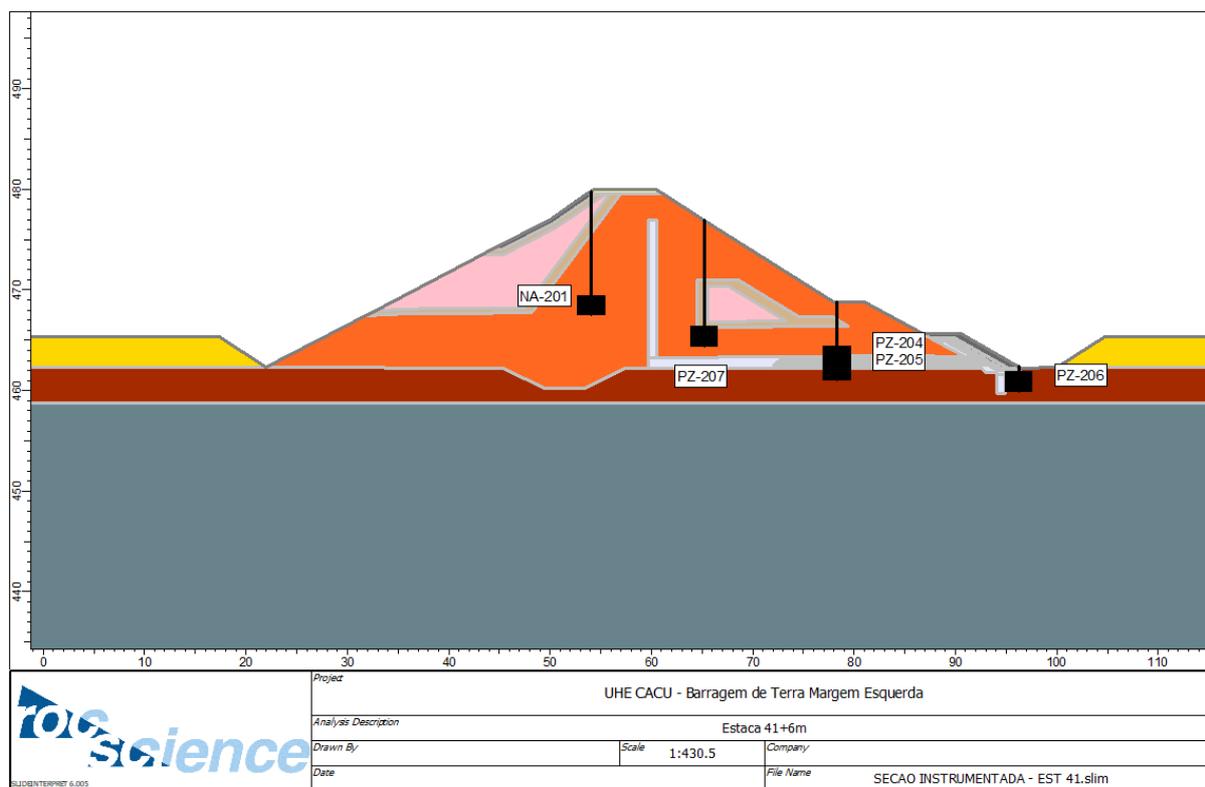


Figura 129. Instrumentos localizados na seção da Estaca 41+6.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 41+6:

- **PZ 204:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 20,1 kPa. Entre os valores de poropressão de 20,1 kPa a 25,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 25,9 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 205:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 25,9 kPa. Entre os valores de poropressão de 25,9 kPa a 37,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 37,1 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 206:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 33,8 kPa. Entre os valores de poropressão de 33,8 kPa a 45,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em

- nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 45,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- PZ 207:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 15,0 kPa. Entre os valores de poropressão de 15,0 kPa a 20,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 20,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
 - NA 201:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de coluna d'água de até 9,5 m.c.a. Entre os valores de 9,5 m.c.a a 10,0 m.c.a, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores acima de 10,0 m.c.a, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

3.3.2.9 Estaca 46+5,0 m

A geometria da seção da estaca 46+5,0 m, e o posicionamento dos instrumentos de auscultação instalados, estão representados na Figura 96.

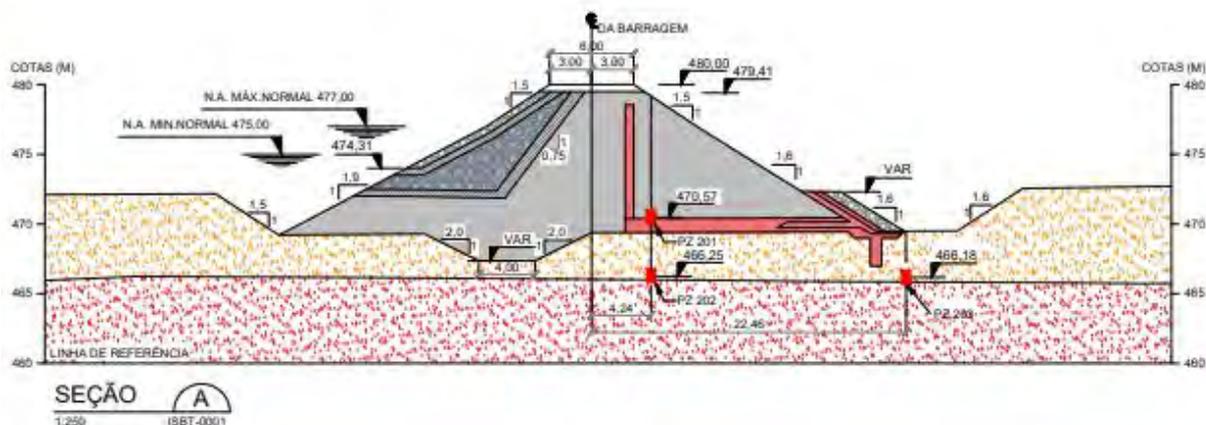


Figura 130. Seção da estaca 46+5,00 da BTME.

Fonte: Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Seções e detalhe (600-CAC-DES-ISBT-0002).

Na seção da Est. 46+5,0 m estão instalados três piezômetros (PZ-201, PZ-202 e PZ-203). As informações de instalação desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 47.

Tabela 47. Informações dos instrumentos instalados na Estaca 46+5,00.

Instrumento	Cota de Instalação [m-IBGE]	Cota de Topo [m-IBGE]
PZ 201	470,57	479,51
PZ 202	466,25	479,35
PZ 203	466,18	471,27

A Figura 131 apresenta a seção instrumentada da barragem com a localização dos instrumentos.

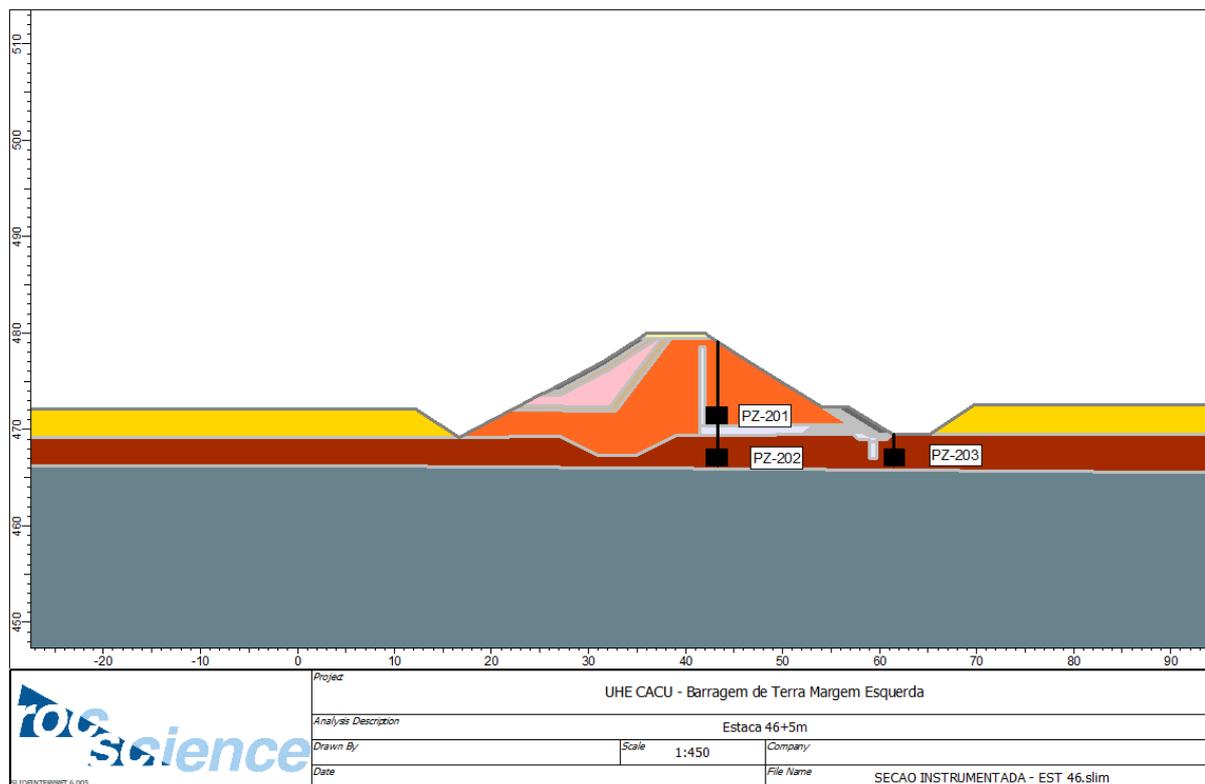


Figura 131. Instrumentos localizados na seção da Estaca 46+5.

Tendo como base as informações dos instrumentos instalados, os dados históricos de instrumentação e as características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que compõem o maciço e a fundação da barragem, foram calculados e propostos os seguintes limites de controle para os instrumentos localizados na seção da Estaca 46+5:

- **PZ 201:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 15,0 kPa. Entre os valores de poropressão de 15,0 kPa a 20,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 20,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
- **PZ 202:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 43,8 kPa. Entre os valores de poropressão de 43,8 kPa a 56,3 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 56,3 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho);
e
- **PZ 203:** o instrumento deverá ser enquadrado em nível normal (verde) quando apresentar valores de poropressão de até 39,0 kPa. Entre os valores de poropressão de 39,0 kPa a 52,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em



Código: 600-CAC-RT-RES-REV_4

Título: Estudo de Estabilidade Global das Estruturas de Terra e Enrocamento

Páginas: 126 de 131 Emissão: 22/11/22



nível de atenção (amarelo). Ao apresentar valores de poropressão acima de 52,0 kPa, o instrumento deverá ser enquadrado em nível de emergência (vermelho).

4 CONCLUSÃO

O presente documento foi elaborado com o intuito de analisar e atualizar os limites de segurança dos instrumentos de monitoramento localizados nas seções instrumentadas da barragem de terra da UHE Caçu. Os valores limites propostos, apresentados neste documento, foram calculados através da análise dos seguintes parâmetros: poropressões em cada ponto instrumentado por piezômetro, da freática no maciço monitorada por instrumento medidor de nível d'água, dos resultados dos ensaios de laboratório na barragem e na fundação e das características geotécnicas e geomecânicas dos materiais que não foram ensaiados.

A Tabela 33 apresenta a síntese dos limites de controle propostos neste documento para todas as seções da barragem de terra da margem direita e da margem esquerda da UHE Caçu.

Tabela 48. Síntese dos limites de controle obtidos para todas os instrumentos da barragem de terra.

Estrutura	Localização	Instrumento	Valores Limites (m.c.a)		Cotas Limites (m)	
			Atenção (amarelo)	Emergência (vermelho)	Atenção (amarelo)	Emergência (vermelho)
BTMD	Estaca 5	PZ – 06	3,7	4,8	474,59	475,66
		PZ – 07*	2,4	2,9	474,51	475,02
		PZ – 08	2,4	2,9	474,51	475,02
	Estaca 7	PZ – 03**	1,5	2,0	474,51	475,01
		PZ – 04	1,7	2,2	471,31	471,87
		PZ – 05	4,6	5,3	471,18	471,84
		MNA – 01	3,7	4,7	475,70	476,70
	Estaca 8+4	PZ – 01	6,6	7,8	475,02	476,23
PZ – 02		3,0	3,5	475,28	475,83	
BTME	Estaca 20+12	PZ – 238	4,2	4,9	472,00	472,77
		PZ – 239	16,3	21,7	466,29	471,73
		PZ – 240	11,7	14,3	450,46	453,00
		PZ – 241	15,4	18,8	450,08	453,42
	Estaca 21+12	PZ – 233	13,4	16,3	452,54	455,45
		PZ – 234**	5,4	6,4	452,33	453,34
		PZ – 235	8,5	10,4	451,38	453,22
		PZ – 236	15,9	19,3	450,78	454,21
		PZ – 237	11,8	14,4	451,12	453,68
	Estaca 23+10	PZ – 226	16,7	20,3	452,47	456,07
		PZ – 227	10,4	12,6	452,91	455,15
		PZ – 228	12,7	15,4	452,77	455,51
		PZ – 229	6,9	8,4	451,53	453,04
		PZ – 230	11,6	14,1	451,31	453,82
		PZ – 231	14,8	18,0	451,08	454,28
	Estaca 25+00	PZ – 220*	6,5	7,9	454,53	455,94
PZ – 221*		6,5	7,9	454,60	456,01	

Estrutura	Localização	Instrumento	Valores Limites (m.c.a)		Cotas Limites (m)	
			Atenção (amarelo)	Emergência (vermelho)	Atenção (amarelo)	Emergência (vermelho)
BTME	Estaca 25+00	PZ – 222*	6,5	7,9	454,62	456,03
		PZ – 223	13,9	16,9	452,84	455,84
		PZ – 224	18,0	21,3	453,07	456,37
	Estaca 30+00	PZ – 225	11,6	14,1	453,07	455,57
		PZ – 215	23,2	27,5	457,78	462,05
	Estaca 30+00	PZ – 216	13,9	16,9	457,85	460,85
		PZ – 217	18,9	23,0	454,10	458,20
		PZ – 218	10,5	12,7	454,79	457,05
	Estaca 33+10	PZ – 219	9,7	11,9	454,85	456,96
		PZ – 211	4,4	5,3	459,33	460,28
		PZ – 212	14,6	18,7	457,73	461,89
		PZ – 213	4,8	5,3	450,64	451,11
	Estaca 36+16	PZ – 214	10,3	11,8	451,23	452,74
		PZ – 208	3,2	3,8	457,04	457,64
		PZ – 209*	3,8	4,6	457,01	457,72
	Estaca 41+6	PZ – 210	3,5	4,7	454,78	455,95
		PZ – 204	2,0	2,6	464,05	464,63
		PZ – 205	2,9	3,7	463,91	464,73
		PZ – 206	3,4	4,5	463,25	464,37
		PZ – 207	1,5	2,0	465,89	466,39
	Estaca 46+5	NA – 201	9,5	10,0	477,00	477,50
		PZ – 201	1,5	2,0	472,07	472,57
		PZ – 202	4,4	5,6	470,63	471,88
		PZ – 203	3,9	5,2	470,08	471,38

*Nota: instrumento danificado.

**Nota: instrumento obstruído.

5 DOCUMENTOS UTILIZADOS

- Estudo de Estabilidade Global das Estruturas Civas – Relatório Técnico 600-BCQ-RT-RES-VER_0;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Planta. Nº 600-BCO-DES-ISBT-0001-1;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Seções e Detalhes. Nº 600-BCO-DES-ISBT-0002-1;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Planta. Nº 600-BCO-DES-ISBT-0020-1;
- Projeto As Is – UHE Caçu – Barragem de Terra – Instrumentação – Seções e Detalhes. Nº 600-BCO-DES-ISBT-0021-1;
- Projeto Básico – UHE Caçu – Civil – Relatório Complementar ao Projeto Básico. Nº 3758/00-30-RL-1001;
- Relatório Consultor – Risco Geológico – UHEs Caçu / Caçu Rio Claro, GO;
- Reavaliação da Instrumentação de Auscultação Civil – UHE Caçu. Relatório ISB/BAC 014/17;
- Relatório Técnico – UHEs Caçu e Caçu. Nº C384-22-5-2018.

REFERÊNCIAS

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobrás, Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas, 2003.

CRAIG, R. F. Mecânicas dos Solos. Tradução de Amir Kurban. 7ª ed. LTC Editora S.A., Rio de Janeiro, RJ, 2007.

DAS, Braja M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. 1ª Edição. Cengage Learning BR., 2011.

PEREIRA, G. M. Projeto de Usinas Hidrelétricas passo a passo. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2015.



Código: 600-CAC-RT-RES-022-0

Título: Estudo da Estabilidade Global das Estruturas de Concreto

Páginas: 2 de 110 Emissão: 30/11/2022



APRESENTAÇÃO

A Kinross Brasil Mineração contratou serviço especializado de Engenharia para elaboração dos estudos de estabilidade de suas estruturas. Esta documentação técnica apresenta os fatores de segurança das estruturas de concreto, bem como a avaliação dos limites dos instrumentos de auscultação.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	OBJETIVO	5
3	DOCUMENTOS UTILIZADOS	5
4	ESTUDO DE ESTABILIDADE PARA AS ESTRUTURAS DE CONCRETO	7
4.1	INTRODUÇÃO	7
4.2	AÇÕES DE PROJETO	7
4.3	UNIDADES	7
4.4	ESFORÇOS DE SUBPRESSÃO	7
4.5	CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO	8
4.5.1	Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)	8
4.5.2	Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)	9
4.5.3	Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)	9
4.5.4	Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)	9
4.5.5	Condição de Carregamento Limite (CCL)	9
4.6	FATORES DE SEGURANÇA	9
4.6.1	Fator de Segurança à Flutuação (FSF)	9
4.6.2	Fator de Segurança ao Deslizamento (FSD)	10
4.6.3	Fator de Segurança ao Tombamento (FST)	10
4.7	TENSÕES ADMISSÍVEIS	10
4.8	COEFICIENTES DE SEGURANÇA	11
4.9	PARÂMETROS ADOTADOS	11
4.10	ESTRUTURA DE CONCRETO – BLOCO 2	13
4.10.1	Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)	14
4.10.2	Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)	16
4.10.3	Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)	17
4.10.4	Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)	18
4.10.5	Condição de Carregamento Limite (CCL)	20
4.11	ESTRUTURAS DE CONCRETO – BLOCO 3	22
4.11.1	Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)	25
4.11.2	Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)	27
4.11.3	Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)	27
4.11.4	Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)	29
4.11.5	Condição de Carregamento Limite (CCL)	31
4.12	ESTRUTURAS DE CONCRETO – BLOCO 4	33
4.12.1	Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)	36
4.12.2	Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)	38
4.12.3	Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)	40
4.12.4	Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)	42

4.12.5	Condição de Carregamento Limite (CCL).....	44
4.13	ESTRUTURAS DE CONCRETO – BLOCOS 5 E 6	46
4.13.1	Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)	49
4.13.2	Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)	51
4.13.3	Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1).....	53
4.13.4	Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2).....	55
4.13.5	Condição de Carregamento Limite (CCL).....	57
4.14	ESTRUTURAS DE CONCRETO – BLOCO DE LIGAÇÃO	58
4.14.1	Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)	61
4.14.2	Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)	64
4.14.3	Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1).....	67
4.14.4	Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2).....	70
4.14.5	Condição de Carregamento Limite (CCL).....	73
4.15	VERTEDOURO	76
4.15.1	Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)	78
4.15.2	Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)	80
4.15.3	Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1).....	82
4.15.4	Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2).....	84
4.15.5	Condição de Carregamento Limite (CCL).....	86
4.16	TOMADA D'ÁGUA E CASA DE FORÇA	88
4.16.1	Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)	90
4.16.2	Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)	93
4.16.3	Condição de Carregamento de Manutenção (CCM).....	95
4.16.4	Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1).....	98
4.16.5	Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2).....	100
4.16.6	Condição de Carregamento Limite (CCL).....	103
5	LIMITES DA INSTRUMENTAÇÃO	105
6	RESUMO DOS RESULTADOS	107
6.1	BLOCO 2	107
6.2	BLOCO 3	107
6.3	BLOCO 4	108
6.4	BLOCOS 5 E 6	108
6.5	BLOCO DE LIGAÇÃO	109
6.6	VERTEDOURO	109
6.7	TOMADA D'ÁGUA E CASA DE FORÇA	110
7	CONCLUSÃO	110

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo busca avaliar a estabilidade global das estruturas de concreto da UHE Caçu. Para a elaboração desta documentação técnica foram utilizadas informações de projeto (Básico, Básico Consolidado, Executivo e Como Construído) e também informações avaliadas em campo pela Fractal Engenharia e Sistemas.

Este estudo levou em consideração as normas brasileiras vigentes, bem como os Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2003).

A fim de auxiliar nos cálculos foi utilizado o software ESTAB, o qual foi desenvolvido especificamente para análises de estabilidade global de estruturas de concreto de usinas hidrelétricas, o qual calcula os fatores de segurança ao tombamento, flutuação e deslizamento, bem como as tensões na fundação das estruturas para cada caso de carregamento.

2 OBJETIVO

São objetivos deste Estudo de Estabilidade, determinar as condições segurança global das estruturas de concreto da UHE Caçu, indicar eventuais pontos críticos no aspecto de estabilidade global e revisar os critérios de projeto para os níveis de Atenção e Emergência, de modo a identificar se estes estão adequados.

Para as análises de estabilidade foram consideradas as subpressões nas fundações das estruturas conforme critério recomendado pela Eletrobrás, e adicionalmente foram verificadas as estabilidades usando os valores da piezometria medida em campo para efeito de comparação e também da verificação da segurança nesta situação.

3 DOCUMENTOS UTILIZADOS

- Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Bloco de ligação – El. 456,30 até El. 480,50 – Fôrma – Plantas e seções. Nº 1027/BP-3F-DE-0091;
- Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Bloco de ligação – El. 456,30 até El. 480,50 – Fôrma – Seções e detalhes Nº 1027/BP-3F-DE-0092;
- Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 1 e 2 – El. 449,60 até El. 479,00 – Seção, detalhe e vista. Nº 1027/BP-3F-DE-0067;
- Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 1 e 2 – El. 449,60 até El. 479,00 – Seções, vistas e detalhes. Nº 1027/BP-3F-DE-0066;
- Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 3 e 4 – El. 440,00 até El. 481,20 – Fôrma – Planta, seções e detalhes. Nº 1027/BP-3F-DE-0079;
- Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 3 e 4 – El. 440,00 até El. 481,20 – Fôrma – Plantas e seções. Nº 1027/BP-3F-DE-0078;

- Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 3 e 4 – El. 440,00 até El. 481,20 – Fôrma – Plantas, vista e detalhe. Nº 1027/BP-3F-DE-0077;
- Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 5 e 6 – El. 439,00 até El. 481,20 – Fôrma – Planta, seção e detalhe. Nº 1027/BP-3F-DE-0071;
- Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 5 e 6 – El. 439,00 até El. 481,20 – Fôrma – Seção, vista e detalhes. Nº 1027/BP-3F-DE-0073;
- Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 5 e 6 – El. 439,00 até El. 481,20 – Fôrma – Seção e detalhes. Nº 1027/BP-3F-DE-0074;
- Projeto Executivo – UHE Caçu – Tomada D’Água – Casa de Força – Arranjo – Seção típica. Nº 1027/CF-30-DE-0001;
- Projeto Executivo – UHE Caçu – Vertedouro – Blocos 1 e 2 – Entre eixos A e B da El. 434,00 até El. 467,60 – Fôrma – Seção, vista e detalhes. Nº 1027/VT-3F-DE-0006;
- Reavaliação da Instrumentação de Auscultação Civil – UHE Caçu. Relatório ISB/BAC 015/17;
- Relatório Técnico – UHEs Caçu e Barra dos Coqueiros. Nº C384-22-5-2018;
- Relatórios dos Serviços da Cortina de Injeção na UHE Caçu – Caçu-GO;
- Investigações Geológico-Geotécnicas – UHE Caçu - Relatórios das Sondagens;
- Memórias de Cálculo da Estabilidade das Estruturas – Projeto Básico – UHE Caçu. Nº8958-00-3(F, G e H)-MC-0001;

4 ESTUDO DE ESTABILIDADE PARA AS ESTRUTURAS DE CONCRETO

4.1 INTRODUÇÃO

Para as análises de estabilidade foi utilizado o programa computacional ESTAB, o qual foi desenvolvido exclusivamente para calcular estabilidades globais específicas para estruturas de usinas hidrelétricas, principalmente estruturas complexas como casas de força ou estruturas cujo plano de fundação não seja apenas horizontal e contínuo, podendo ser também definido em vários planos em cotas diferentes, e considerando ainda descontinuidades ao longo da fundação. Este programa calcula os fatores de segurança ao tombamento, escorregamento e flutuação, bem como as tensões na fundação de maneira exata através do método de “Nigan”, o qual utiliza a inércia polar da fundação para calcular as tensões verticais, normais e tangenciais em qualquer ponto da fundação. O programa permite ainda a inserção de pressão intersticial integral nos casos onde há abertura de juntas de tração na fundação, e a análise interativa para a convergência da abertura desta junta.

4.2 AÇÕES DE PROJETO

As ações de projeto são os carregamentos atuantes na estrutura a ser verificada. Para a análise da estabilidade da Barragem Caçu foram considerados os seguintes carregamentos: peso próprio da estrutura, peso de água, empuxos hidrostáticos e subpressões nas fundações.

4.3 UNIDADES

As unidades de comprimento, área, volume, força e tensões neste documento estão todas em m, m², m³, kN e kN/m² respectivamente; exceto onde indicado.

4.4 ESFORÇOS DE SUBPRESSÃO

Em barragens dotadas de sistema de drenagem operante na estrutura do barramento deve-se realizar uma consideração para a minoração dos valores de subpressão.

A Figura 1 apresenta o efeito da linha de drenagem na minoração da subpressão atuante na estrutura da barragem.

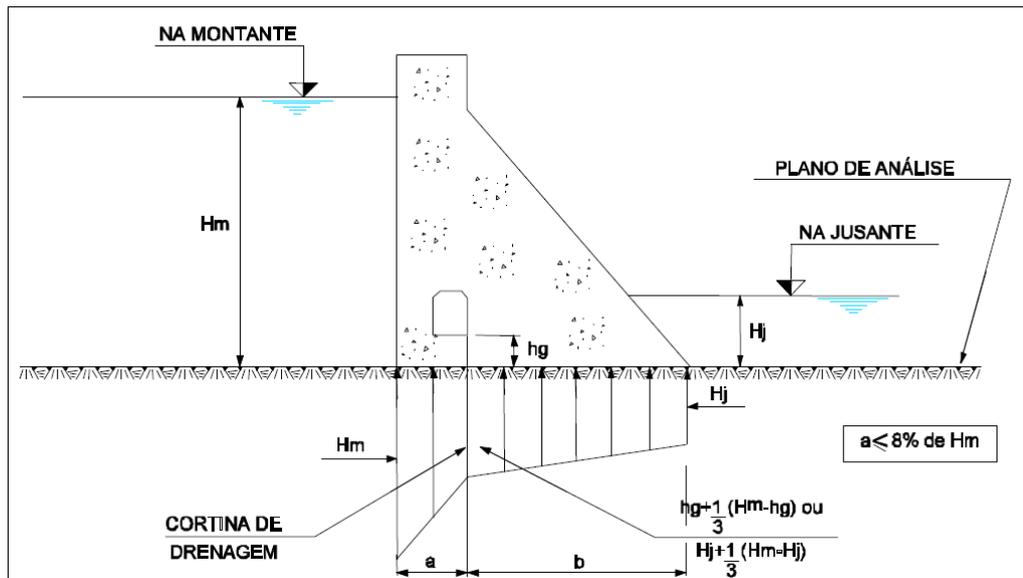


Figura 1 - Efeito das linhas de drenagem na minoração da subpressão¹.

Fonte: Adaptado Eletrobrás, 2003.

As fórmulas para minoração da subpressão, recomendadas pela Eletrobrás, 2003, para minoração da subpressão na galeria de montante, estão apresentadas abaixo:

$$H_{dm} = H_g + \frac{1}{3}(H_m - H_g)$$

ou

$$H_{dj} = H_j + \frac{1}{3}(H_m - H_j)$$

4.5 CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO

As condições de carregamento definem as combinações de ações de projeto a serem consideradas para cada caso e estrutura analisada. Neste estudo foram analisadas três condições de carregamento para cada seção.

4.5.1 Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)

Esta condição representa a combinação de todas as ações de grande probabilidade de ocorrência simultânea ao longo da vida útil da estrutura, sempre em condições hidrológicas normais.

Neste caso foram considerados os níveis normais de montante e jusante, as subpressões correspondentes a estes níveis e a usina operando em situação normal.

¹ Além dos esforços apresentados as análises de estabilidade, utilizando os dados disponíveis, também podem ser consideradas as análises sísmicas.

4.5.2 Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)

Esta condição representa as mesmas condições do caso CCN1 acima, apenas modificando o diagrama de subpressões na região das piezometrias, e utilizando nestes pontos os valores reais da piezometria medidos em campo.

4.5.3 Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)

Esta condição representa a combinação de ações de baixa probabilidade de ocorrência simultânea ao longo da vida útil da estrutura. No caso do CCE1 será considerado o caso de enchente, com nível de água máximo a montante e a jusante, e as subpressões correspondentes a estes níveis.

4.5.4 Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)

Esta condição representa a combinação de ações de baixa probabilidade de ocorrência simultânea ao longo da vida útil da estrutura. No caso do CCE2 serão considerados os níveis normais de operação e a situação excepcional do sistema de drenagem 50% inoperante.

4.5.5 Condição de Carregamento Limite (CCL)

Esta condição representa a combinação de ações de baixíssima probabilidade de ocorrência simultânea ao longo da vida útil da estrutura. No caso do CCL será considerado o caso do sistema de drenagem 100% inoperante com os níveis de água normais de operação.

4.6 FATORES DE SEGURANÇA

4.6.1 Fator de Segurança à Flutuação (FSF)

O fator de segurança à flutuação é definido como a relação entre as forças verticais gravitacionais e o somatório das forças de subpressão. A equação utilizada é apresentada abaixo:

$$FSF = \frac{\Sigma F_{grav}}{\Sigma F_{sub}}$$

onde,

FSF = Fator de segurança à flutuação;

ΣF_{grav} = Somatório das forças gravitacionais;

ΣF_{sub} = Somatório das forças de subpressão.

4.6.2 Fator de Segurança ao Deslizamento (FSD)

O fator de segurança ao deslizamento é definido como a relação entre o somatório das forças horizontais resistentes (advindas do atrito e coesão do plano de ruptura analisado) e o somatório das forças horizontais (ação de empuxos). A equação utilizada é apresentada abaixo:

$$FSD = \frac{\frac{\Sigma F_v \times tg(\phi)}{CS\phi} \times \frac{C \times A}{CSc}}{\Sigma F_h}$$

onde,

FSD = Fator de segurança ao deslizamento;

ΣF_v = Somatório das forças verticais atuantes;

ϕ = Ângulo de atrito do material no contato analisado;

$CS\phi$ = Coeficiente de segurança para minorar a resistência pelo atrito;

SC = Coesão do material no contato analisado;

A = Área da base da seção;

CSc = Coeficiente de segurança para minorar a resistência pela coesão;

ΣF_h = Somatório das forças horizontais.

4.6.3 Fator de Segurança ao Tombamento (FST)

O fator de segurança ao tombamento é definido pela relação entre o somatório dos momentos resistentes e o somatório dos momentos solicitantes no polo de rotação da estrutura. A equação utilizada é apresentada abaixo:

$$FST = \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_s}$$

onde,

FST = Fator de segurança ao tombamento;

ΣM_r = Somatório dos momentos resistentes;

ΣM_s = Somatório dos momentos solicitantes.

4.7 TENSÕES ADMISSÍVEIS

As tensões na fundação serão calculadas de maneira exata através do método de “Nigan”, o qual utiliza a inércia polar da fundação para calcular as tensões verticais, normais e tangenciais em qualquer ponto da fundação. Estas tensões serão comparadas com as tensões admissíveis do concreto e da rocha da fundação.

4.8 COEFICIENTES DE SEGURANÇA

O grau de estabilidade mínimo deverá ser compatível com os valores dos coeficientes de segurança indicado pela Eletrobrás.

A Tabela 1 apresenta os fatores de redução da resistência do Atrito ($FSD\Phi$) e da Coesão ($FSDc$). Sendo adotado para estruturas os parâmetros de resistência mais conservadores na medida que foram realizadas as análises.

Tabela 1. Fatores de redução da resistência do Atrito e da Coesão.

FATORES DE REDUÇÃO	CASOS DE CARREGAMENTOS		
	CCN	CCE	CCL
$FSD\Phi$	3,0 (4,0)	1,5 (2,0)	1,3 (2,0)
$FSDc$	1,5 (2,0)	1,1 (1,3)	1,1 (1,3)

Fonte: Adaptado ELETROBRÁS, 2003.

Em relação aos Fatores de Redução da Resistência do Atrito e da Coesão, os valores adotados no presente estudo são os referentes à condição de conhecimento dos parâmetros de resistência dos materiais envolvidos na execução. Portanto, são os primeiros valores, fora dos parênteses. O presente estudo seguiu o mesmo critério usado pela projetista no emprego dos fatores de redução.

A Tabela 2 apresenta os fatores de Segurança à Flutuação (FSF) e ao Tombamento (FST).

Tabela 2. Fatores de Segurança à Flutuação (FSF) e ao Tombamento (FST).

COEFICIENTE DE SEGURANÇA	CASOS DE CARREGAMENTOS		
	CCN	CCE	CCL
FSF	1,3	1,1	1,1
FST	1,5	1,2	1,1

Fonte: Adaptado ELETROBRÁS, 2003.

4.9 Parâmetros adotados

Conforme informações apresentadas nos documentos técnicos do barramento e em seu Plano de Segurança – PSB a estrutura tem os seguintes níveis operacionais:

- NA Montante Máx. Normal: 477,00 [m-IBGE];
- NA Montante Máx. Maximorum: 477,00 [m-IBGE];
- NA Jusante Max. Normal: 449,00 [m-IBGE];

- NA Jusante Max. Maximorum: 454,30 [m-IBGE].

Os parâmetros adotados nestas análises são referentes aos critérios gerais do projeto estrutural, bem como consulta à bibliografia técnica adequada. Estas informações são apresentadas na Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 - Pesos específicos.

Material	Peso Específico
Água	1,00 t/m ³
Concreto Armado	2,50 t/m ³
Concreto Massa ou CCR	2,40 t/m ³
Material Assoreado	1,30 t/m ³
Basalto	2,85 t/m ³

Para o cálculo do material assoreado no pé do barramento foi utilizado como parâmetro de análise à altura de sedimento acumulado, correspondente à 10% da altura da seção do barramento.

Os parâmetros técnicos da fundação, no contato concreto-rocha, foram utilizados os valores mínimos obtidos na documentação técnica de projeto básico e avaliada a conformidade segundo a bibliografia técnica especializada.

Tabela 4 - Ângulo de atrito interno (Φ), coesão (c) e tensão admissível (σ_{adm}).

Material	Ângulo de atrito (Φ)	Coesão (c)	Tensão admissível na rocha (σ_{adm})
Interface Concreto - Basalto	40°	200 kN/m ²	20 kgf/cm ²

4.10 ESTRUTURA DE CONCRETO – BLOCO 2

A análise foi realizada no Bloco 2 das estruturas de concreto, sendo esta destacada na Figura 2, e com seção indicada na Figura 3.

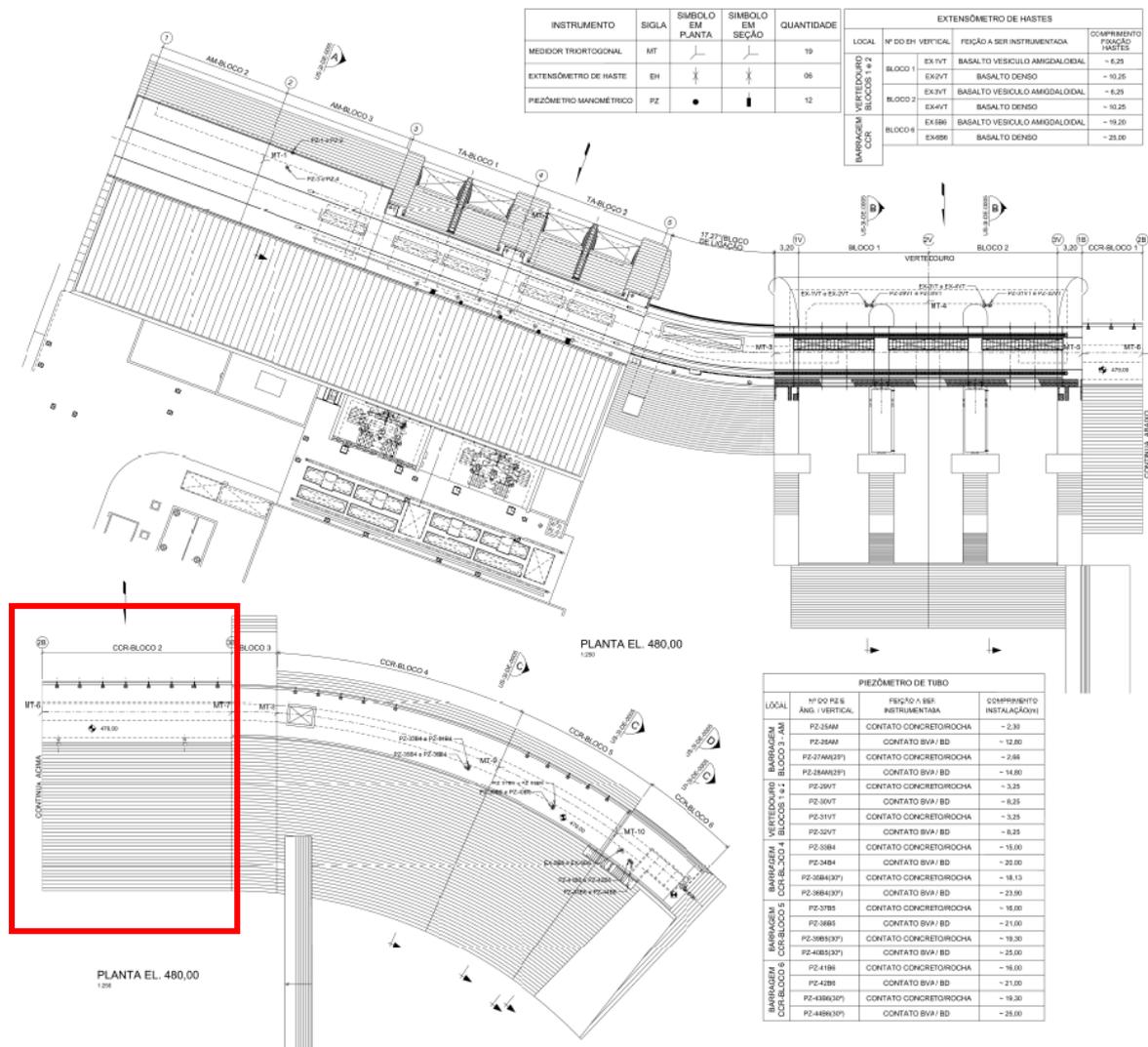


Figura 2 - Seção das estruturas de concreto Bloco 2.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem de CCR, Vertedouro e Bloco 3 da Área de Montagem – Instrumentação – Plantas (1027/US-3I-DE-0004).

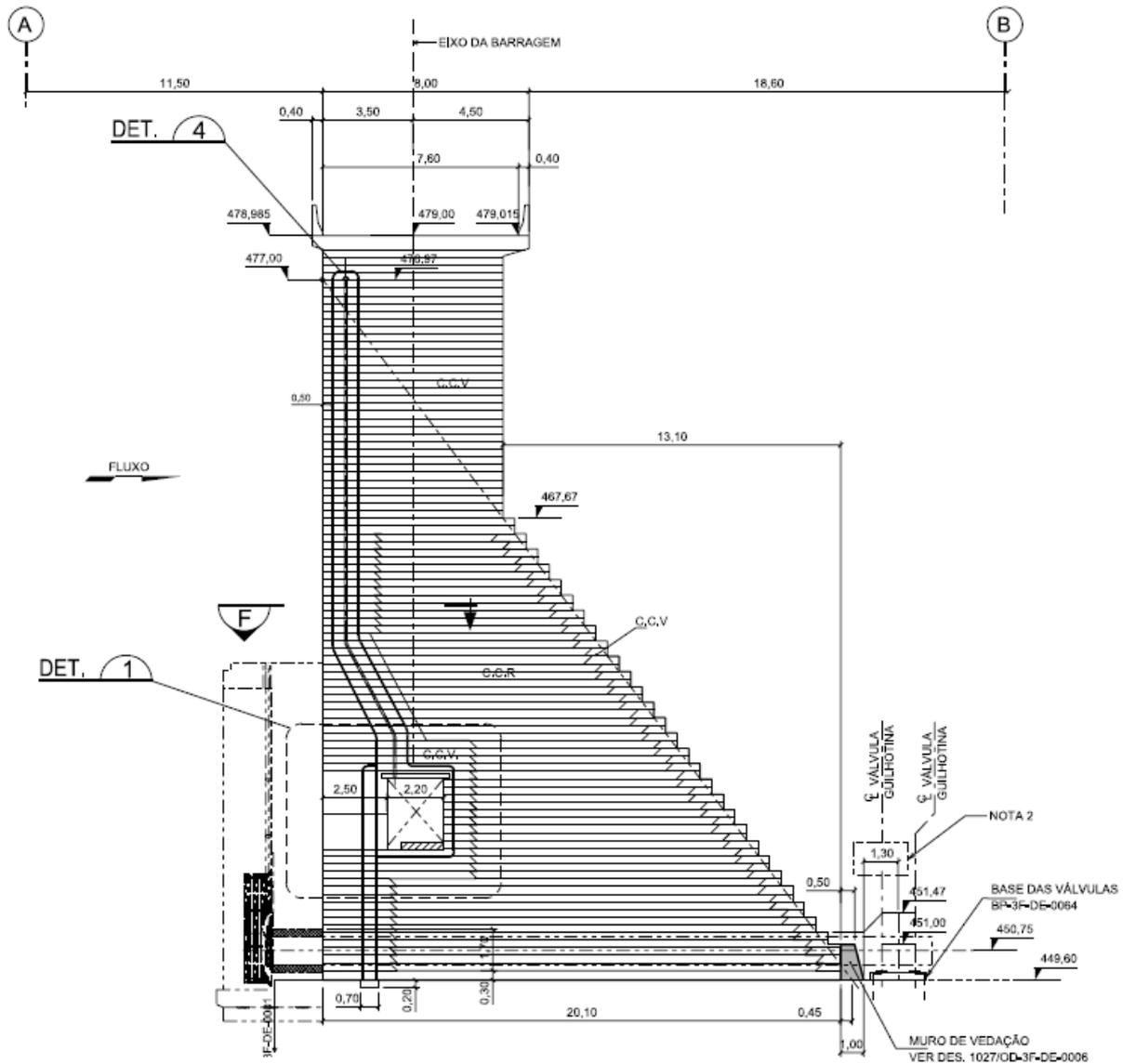


Figura 3 – Estruturas de Concreto Bloco 2.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 1e 2 – EL. 449,60 até 479,00 – Seções, Vistas e Detalhes (1027/BP-3F-DE-0066).

PUNTO DE TOMBAMENTO: X = 20,55
Y = 449,00

VOLUMES

NMT	MATERIAL	XCG	YCG	VOLUME
1	CONCRETO CCR	6.55	460.77	331.87
2	AGUA CCE1	19.30	452.53	9.94

4.10.1 Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)

Na situação da condição de Carregamento Normal 1 (CCN1) a análise foi feita no contato entre a base da estrutura de concreto e a fundação em basalto.

A Figura 4 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 2, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

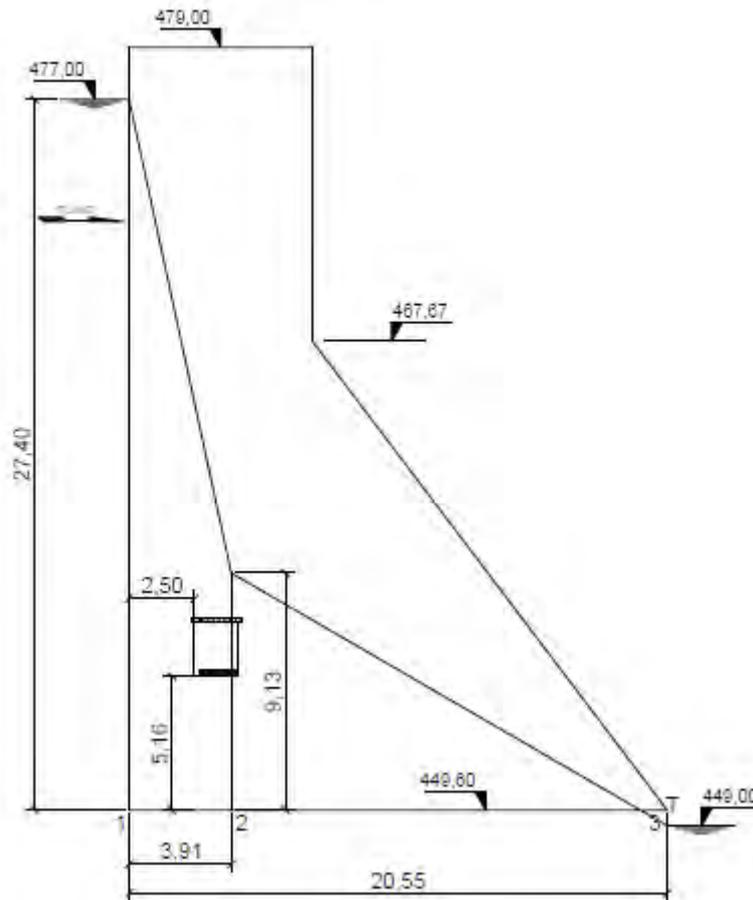


Figura 4 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco 2 (CCN1).

CARREGAMENTO - 1 - CCN1 CONDICAO DE CARREGAMENTO NORMAL-1

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	274.00
2	2	91.30
3	3	.01

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	712.34	.00	1157.48
2	2	3	.00	760.16	.00	7183.93
TOTAL	.....		.00	1472.49		8341.42

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM	
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
1	7	1	1.00	477.00	3920.00	.00 -1796667.00

TOTAL 3920.00 .00 -1796667.00

FORÇAS APLICADAS

=====

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	449.98	15.20	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 111475.50
MOMENTO TOMBAMENTO = 58519.83
F.S. AO TOMBAMENTO = 1.90

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -7964.86
RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 1472.49
FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 5.41

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	191.49	-120.52	-120.52	191.49
	2	191.49	-194.69	-194.69	191.49
2	2	191.49	-194.69	-194.69	191.49
	3	191.49	-511.34	-511.34	191.49

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.27

Tabela 5. Resumo dos resultados CCN1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	1.90	5.41	1.27	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 2 é estável para a condição normal de carregamento 1 (CCN1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.10.2 Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)

Na situação da condição de Carregamento Normal 2 (CCN2 – Subpressão da Piezometria) a análise foi feita no contato entre a base da estrutura de concreto e a fundação em basalto.

Como o bloco 2 não possui instrumentação instalada, este caso de carregamento não poderá ser avaliado.

4.10.3 Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1 – Enchente) a análise foi feita no contato entre a base da estrutura de concreto e a fundação em basalto.

A Figura 5 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 2, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

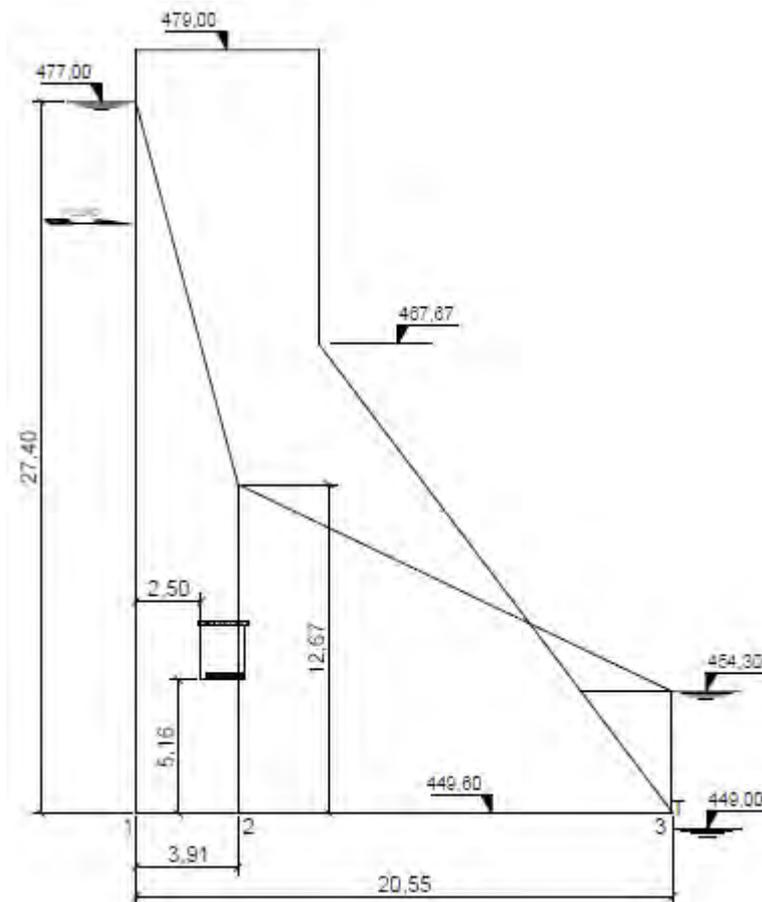


Figura 5 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco 2 (CCE1).

CARREGAMENTO - 3 - CCE1 CONDICAO DE CARREG. DE ENCHENTE

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	274.00
2	2	91.30
3	3	47.00

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	712.34	.00	1157.48
2	2	3	.00	1151.35	.00	13051.81
TOTAL	.....		.00	1863.68		14209.29

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA		ESFORÇOS NA ORIGEM	
				FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO	
1	7	1	1.00	477.00	3920.00	.00	-1796667.00
2	3	12	1.00	454.30	-140.45	.00	63309.89
TOTAL				3779.55	.00	-1733357.00	

FORÇAS APLICADAS

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	449.98	15.20	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 111847.80
 MOMENTO TOMBAMENTO = 60690.95
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.84

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -8064.24
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 1863.68
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 4.33

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	184.66	-123.37	-123.37	184.66
	2	184.66	-191.07	-191.07	184.66
2	2	184.66	-191.07	-191.07	184.66
	3	184.66	-480.09	-480.09	184.66

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.60

Tabela 6. Resumo dos resultados CCE1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE1	1.84	4.33	1.60	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 2 é estável para a condição excepcional de carregamento 1 (CCE1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.10.4 Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2 - Drenagem 50% inoperante) a análise foi feita no contato entre a base da estrutura de concreto e a fundação em basalto.

A Figura 6 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 2, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

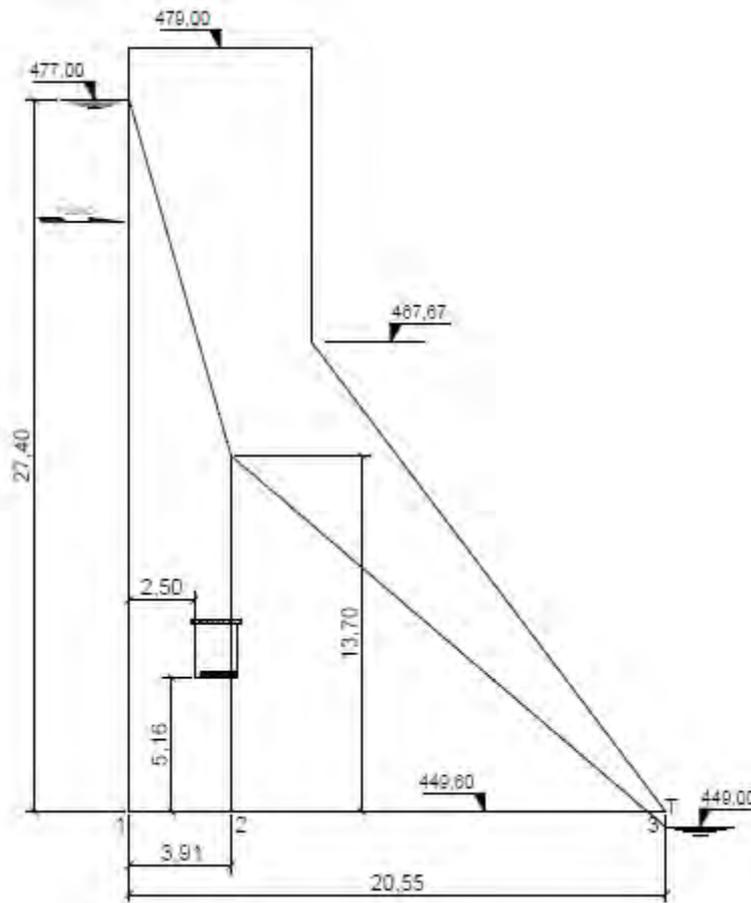


Figura 6 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco 2 (CCE2).

CARREGAMENTO - 4 - CCE2 CONDICAO DE CARREG. DRENAGEM 50%

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	274.00
2	2	137.00
3	3	.01

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	801.45	.00	1389.18
2	2	3	.00	1140.61	.00	10779.21
TOTAL .....			.00	1942.06		12168.39

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM
-----	----	----	-----	--------	--------------------

			FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO		
1	7	1	1.00	477.00	3920.00	.00	-1796667.00
TOTAL			3920.00	.00	-1796667.00		

FORÇAS APLICADAS

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	449.98	15.20	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 111475.50
 MOMENTO TOMBAMENTO = 64342.46
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.73

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -7964.86
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 1942.06
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 4.10

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	191.49	-83.50	-83.50	191.49
2	2	191.49	-163.05	-163.05	191.49
2	2	191.49	-163.05	-163.05	191.49
3	3	191.49	-502.66	-502.66	191.49

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.51

Tabela 7. Resumo dos resultados CCE2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE1	1.73	4.10	1.51	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 2 é estável para a condição excepcional de carregamento 2 (CCE2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.10.5 Condição de Carregamento Limite (CCL)

Na situação da condição de Carregamento Limite (CCL - Drenagem 100% inoperante) a análise foi feita no contato entre a base da estrutura de concreto e a fundação em basalto.

A Figura 7 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 2, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

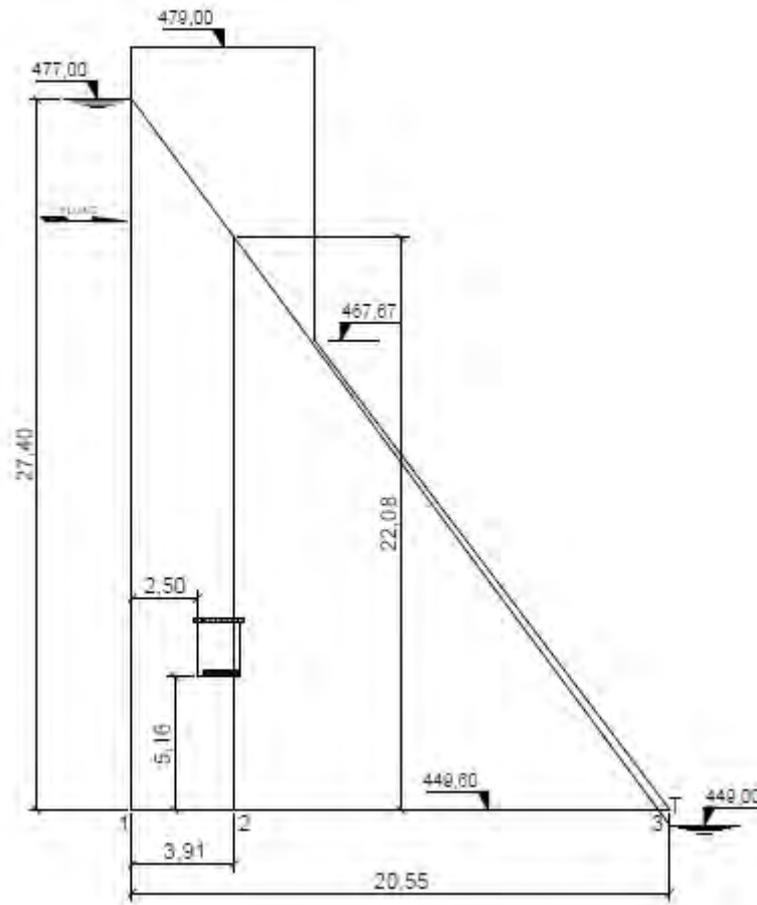


Figura 7 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco 2 (CCL).

CARREGAMENTO - 5 - CCL CONDICAO DE BOMBEAMENTO INOPERANTE

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	274.00
2	2	220.80
3	3	.01

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	965.25	.00	1815.06
2	2	3	.00	1839.91	.00	17387.59
TOTAL	.....		.00	2805.16		19202.65

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	7	1	1.00	477.00	3920.00	.00	-1796667.00
TOTAL	.....			3920.00	.00		-1796667.00

FORCAS APLICADAS

=====

COORD. X COORD. Y FORÇA X FORÇA Y MOMENTO
.00 449.98 15.20 .00 .00

MOMENTO RESISTENTE = 111475.50
MOMENTO TOMBAMENTO = 75044.91
F.S. AO TOMBAMENTO = 1.49

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -7964.86
RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 2805.16
FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 2.84

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO
=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	191.49	-15.44	-15.44	191.49
2	1	191.49	-104.88	-104.88	191.49
2	2	191.49	-104.88	-104.88	191.49
3	1	191.49	-486.72	-486.72	191.49

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.10
FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 1.50
F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.70

Tabela 8. Resumo dos resultados CCE2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCL	1.49	2.84	1.70	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 2 é estável para a condição limite de carregamento (CCL), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.11 ESTRUTURAS DE CONCRETO – BLOCO 3

A análise foi realizada no Bloco 3 das estruturas de concreto, sendo esta destacada nas Figura 8 e Figura 9, com seção de corte apresentada na Figura 10.

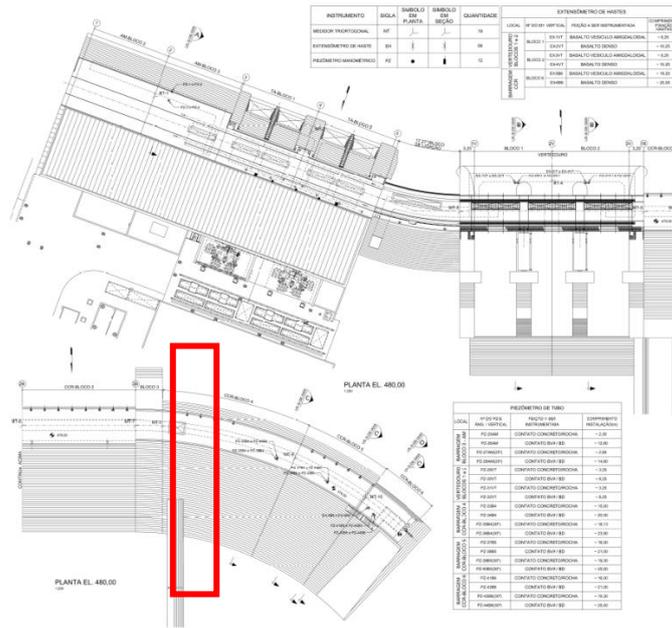


Figura 8 - Seção das estruturas de concreto (Bloco 3).

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem de CCR, Vertedouro e Bloco 3 da Área de Montagem – Instrumentação – Plantas (1027/US-3I-DE-0004).

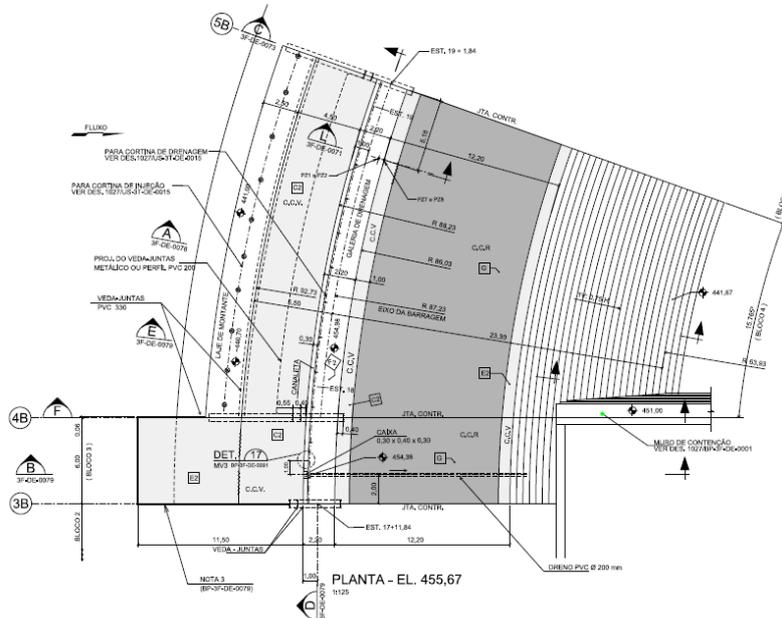


Figura 9. Localização do Bloco 3 da estrutura de CCR.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 3 e 4 – EL. 440,00 até EL. 481,20 – Fôrma – Plantas, vista e detalhe (1027/BP-3F-DE-0077).

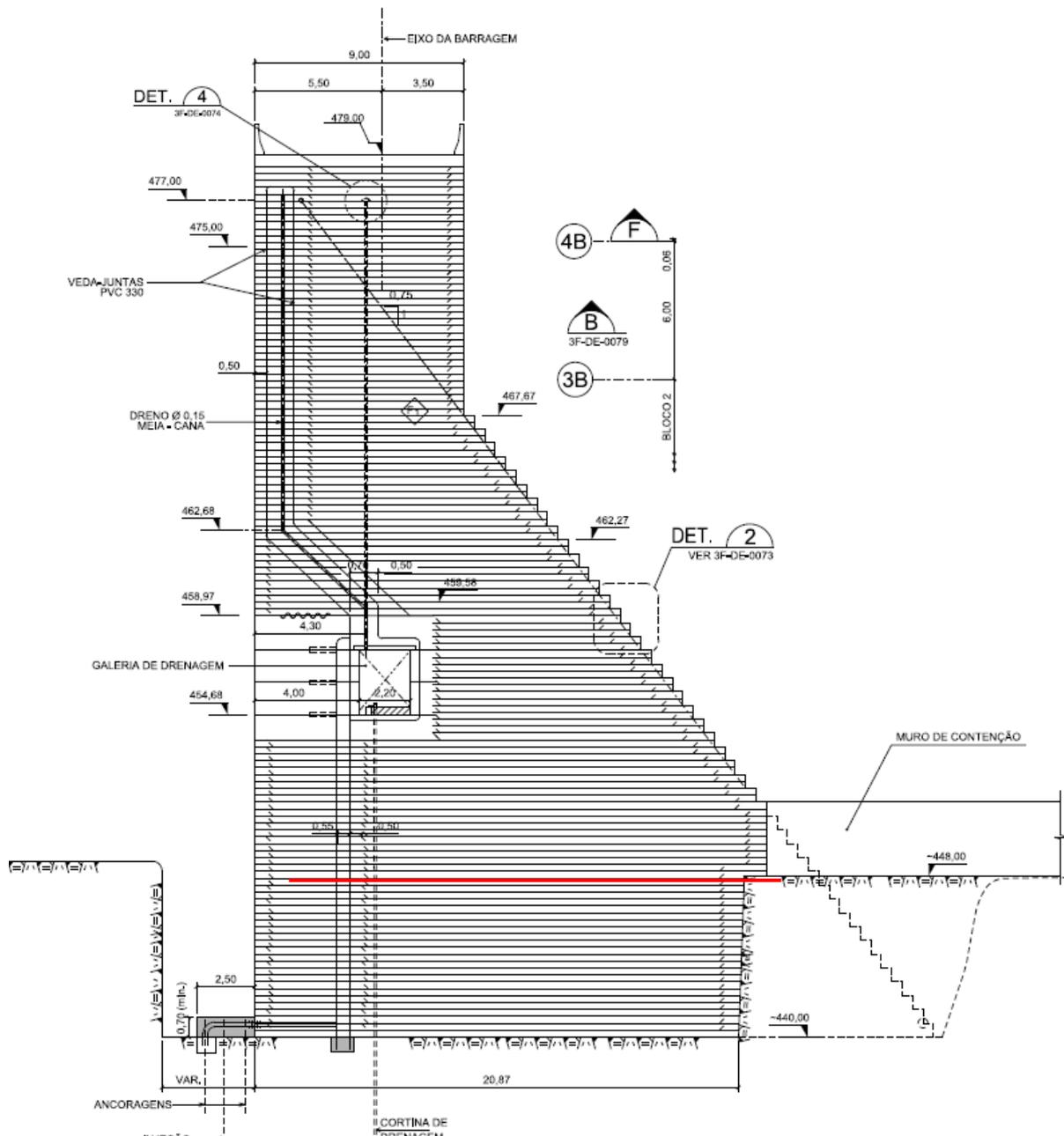


Figura 10 - Estruturas de Concreto Bloco 3.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 3 e 4 – EL. 440,00 até EL. 481,20 – Fôrma – Plantas, vista e detalhe (1027/BP-3F-DE-0077).

Para o caso do Bloco 3 foi considerada a movimentação no plano da cota 448,00, pois esta região não apresenta a impedição do deslocamento pela fundação a jusante, conforme identificado na Figura 10. Os parâmetros, como ângulo de atrito e coesão foram mantidos os utilizados no contato fundação estrutura, sendo para este caso mais conservador.

PONTO DE TOMBAMENTO: X = 21.50
Y = 448.00

VOLUMES

=====

NMT	MATERIAL	XCG	YCG	VOLUME
1	CONCRETO CCR	7.63	460.59	415.96
2	AGUA CCE1	20.67	453.20	4.12

PESO TOTAL 10024.23
CENTRO DE GRAVIDADE X = 7.69
Y = 460.56

4.11.1 Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)

Nesta condição de carregamento as forças atuantes na estrutura têm grande probabilidade de ocorrência simultânea e a condição hidrológica é a considerada Normal, sendo esta, caracterizada pelos níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 11 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 3, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

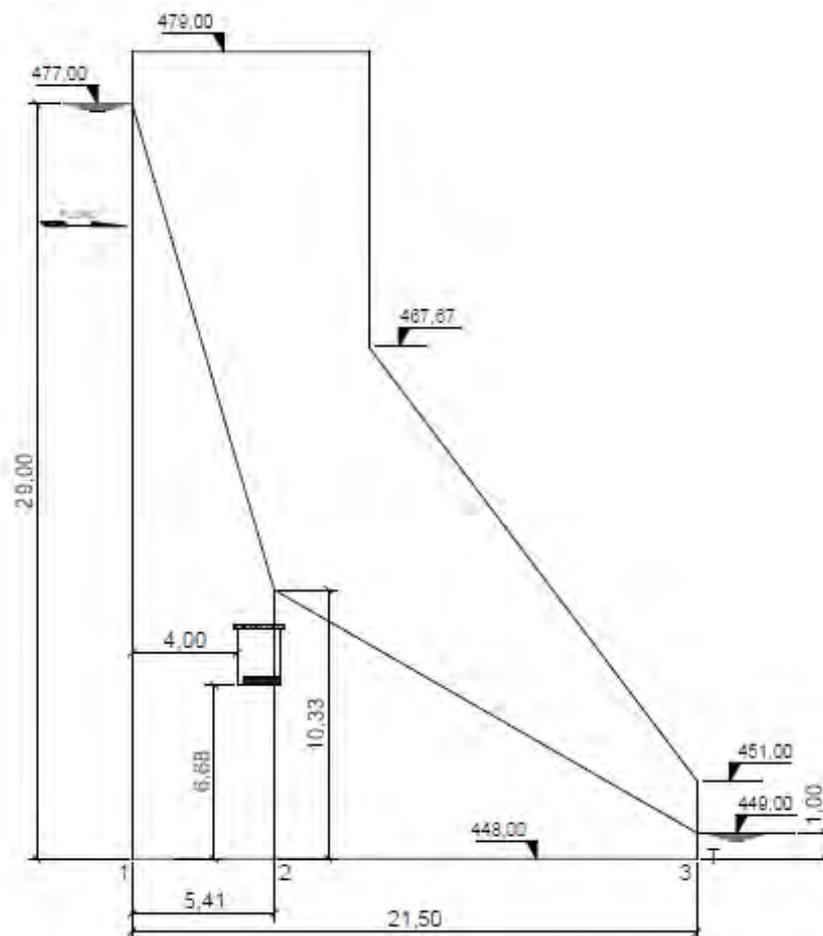


Figura 11 - Diagrama de Subpressões na Fundação do Bloco 3 (CCN1).

CARREGAMENTO - 1 - CCN1 CONDICAO DE CARREGAMENTO NORMAL-1

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS NO SUBPRESSAO

1	1	290.00
2	2	103.30
3	3	10.00

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1061.91	.00	2413.48
2	2	3	.00	912.07	.00	10251.92
TOTAL .....			.00	1973.98		12665.39

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE N1 N2 ESP N.AGUA ESFORCOS NA ORIGEM

				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
1	8	1	1.00	477.00	4205.00	.00 -1924488.00

TOTAL 4205.00 .00 -1924488.00

FORCAS APLICADAS

=====

COORD. X	COORD. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
.00	449.00	15.20	.00	.00

MOMEMTO RESISTENTE = 138432.80

MOMENTO TOMBAMENTO = 70438.61

F.S. AO TOMBAMENTO = 1.97

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -9982.98

RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 1973.98

FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 5.06

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	196.29	-137.54	-137.54	196.29
	2	196.29	-255.57	-255.57	196.29
2	2	196.29	-255.57	-255.57	196.29
	3	196.29	-607.48	-607.48	196.29

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50

FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00

F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.40

Tabela 9. Resumo dos resultados CCN1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	1.97	5.06	1.40	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 3 é estável para a condição normal de carregamento 1 (CCN1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.11.2 Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)

Nesta condição de carregamento (CCN2 – Subpressão da Piezometria) foram considerados os níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

Como o bloco 3 não possui instrumentação instalada, este caso de carregamento não poderá ser avaliado.

4.11.3 Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1) foi verificada a estabilidade para os níveis máximos de enchente.

A Figura 12 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 3, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

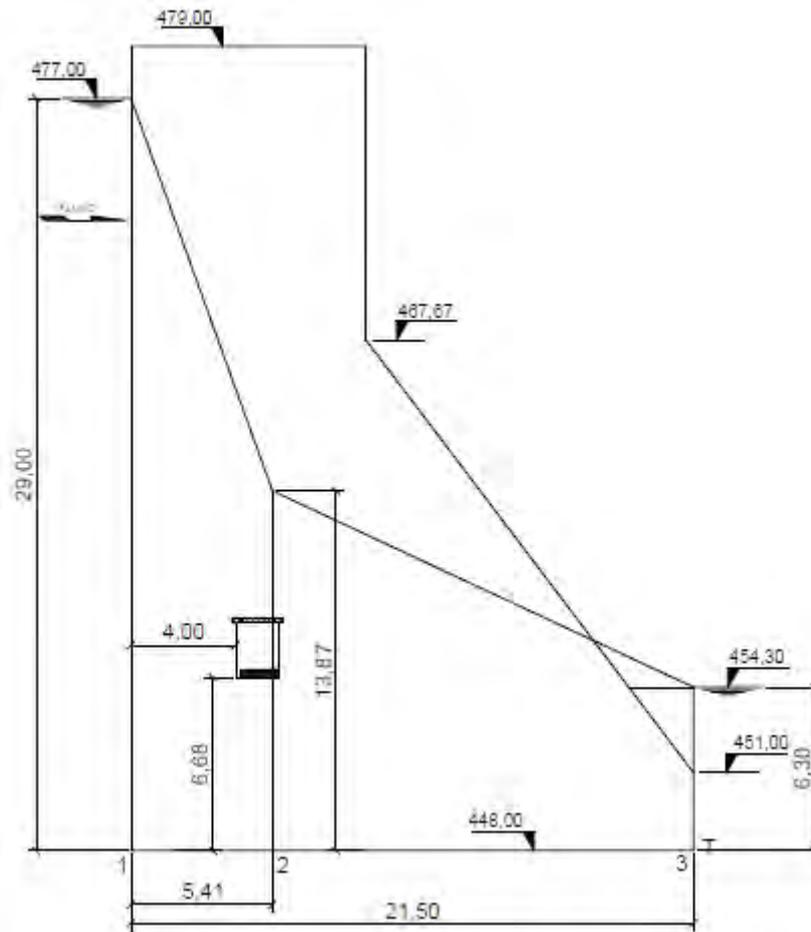


Figura 12 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco 3 (CCE1).

CARREGAMENTO - 3 - CCE1 CONDIÇÃO DE CARREG. DE ENCHENTE

=====

SUBPRESSÃO

=====

NPS	NO	SUBPRESSÃO
1	1	290.00
2	2	138.70
3	3	63.00

ESFORÇOS DA SUBPRESSÃO

=====

NLF	N1	N2	FORÇA X	FORÇA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1157.49	.00	2757.56
2	2	3	.00	1623.68	.00	20203.38
TOTAL .....			.00	2781.18		22960.95

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM		
				FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO	
1	8	1	1.00	477.00	4205.00	.00	-1924488.00
2	3	13	1.00	454.30	-198.45	.00	89322.00
TOTAL					4006.55	.00	-1835166.00

FORÇAS APLICADAS

=====

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	449.00	15.20	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 138883.90
 MOMENTO TOMBAMENTO = 77497.86
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.79

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -10024.23
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 2781.18
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 3.60

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	187.06	-123.02	-123.02	187.06
	2	187.06	-230.45	-230.45	187.06
2	2	187.06	-230.45	-230.45	187.06
	3	187.06	-550.76	-550.76	187.06

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.70

Tabela 10. Resumo dos resultados CCE1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE1	1.79	3.60	1.70	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 3 é estável para a condição excepcional de carregamento 1 (CCE1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.11.4 Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2) foi verificada a hipótese de drenagem 50% inoperante.

A Figura 13 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 3, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

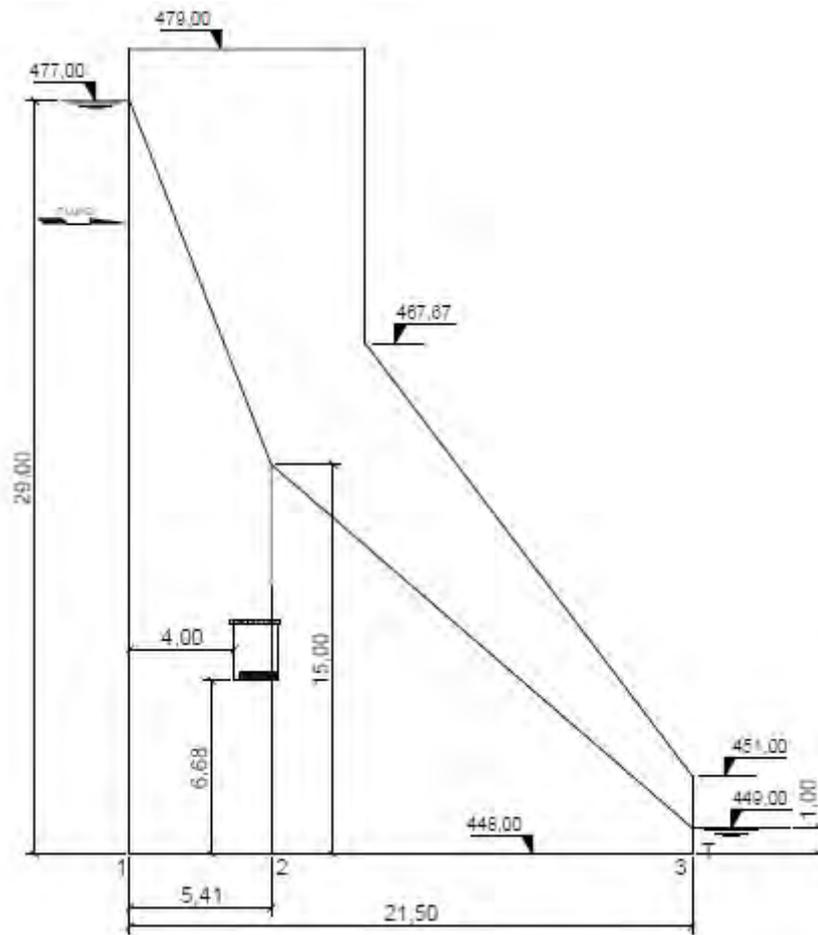


Figura 13 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco 3 (CCE2).

CARREGAMENTO - 4 - CCE2 CONDIÇÃO DE CARREG. DRENAGEM 50%
=====

SUBPRESSÃO
=====

NPS	NO	SUBPRESSÃO
1	1	290.00
2	2	150.00
3	3	10.00

ESFORÇOS DA SUBPRESSÃO
=====

NLF	N1	N2	FORÇA X	FORÇA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1188.00	.00	2867.40
2	2	3	.00	1288.00	.00	14299.48
TOTAL .....			.00	2476.00		17166.88

EMPUXO D'AGUA
=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM	
				FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
1	8	1	1.00	477.00	4205.00	.00 -1924488.00
TOTAL				4205.00	.00	-1924488.00

FORÇAS APLICADAS
=====

COORD. X COORD. Y FORÇA X FORÇA Y MOMENTO
 .00 449.00 15.20 .00 .00

MOMENTO RESISTENTE = 138432.80
 MOMENTO TOMBAMENTO = 76730.66
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.80

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -9982.98
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 2476.00
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 4.03

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	196.29	-102.57	-102.57	196.29
	2	196.29	-226.44	-226.44	196.29
2	2	196.29	-226.44	-226.44	196.29
	3	196.29	-595.75	-595.75	196.29

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.66

Tabela 11. Resumo dos resultados CCE2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE2	1.80	4.03	1.66	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 3 é estável para a condição excepcional de carregamento 2 (CCE2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.11.5 Condição de Carregamento Limite (CCL)

Na situação da condição de Carregamento Limite (CCL) foi verificada a hipótese de drenagem 100% inoperante.

A Figura 4 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 3, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

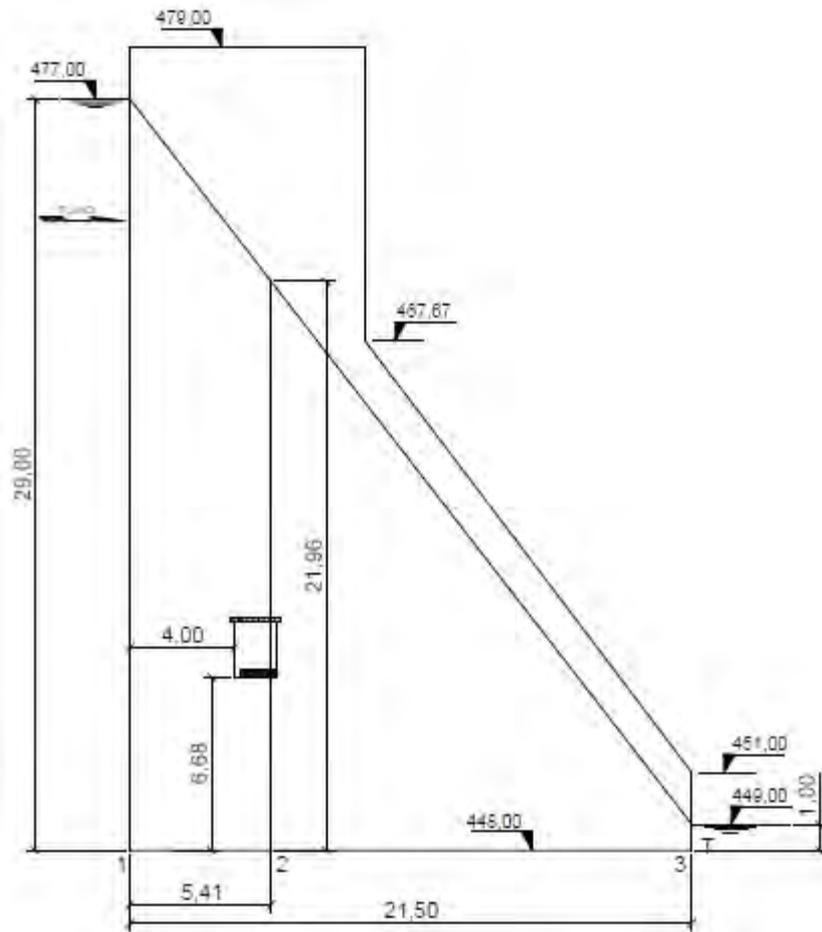


Figura 14 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco 3 (CCL).

CARREGAMENTO - 5 - CCL CONDICAO DE BOMBEAMENTO INOPERANTE

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	290.00
2	2	219.60
3	3	10.00

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1375.92	.00	3543.91
2	2	3	.00	1848.28	.00	20331.83
TOTAL	.....		.00	3224.20		23875.74

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM	
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
1	8	1	1.00	477.00	4205.00	.00 -1924488.00
TOTAL	.....			4205.00	.00	-1924488.00

FORCAS APLICADAS

=====

COORD. X COORD. Y FORÇA X FORÇA Y MOMENTO
 .00 449.00 15.20 .00 .00

MOMENTO RESISTENTE = 138432.80
 MOMENTO TOMBAMENTO = 86108.09
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.61

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -9982.98
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 3224.20
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 3.10

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	196.29	-50.45	-50.45	196.29
	2	196.29	-183.02	-183.02	196.29
2	2	196.29	-183.02	-183.02	196.29
	3	196.29	-578.27	-578.27	196.29

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.10
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 1.50
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.90

Tabela 12. Resumo dos resultados CCL

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCL	1.61	3.10	1.90	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 3 é estável para a condição limite de carregamento (CCL), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.12 ESTRUTURAS DE CONCRETO – BLOCO 4

A análise foi realizada no Bloco 4 das estruturas de concreto, sendo esta destacada nas Figura 15 e Figura 16, bem como seção de corte apresentada na Figura 17.

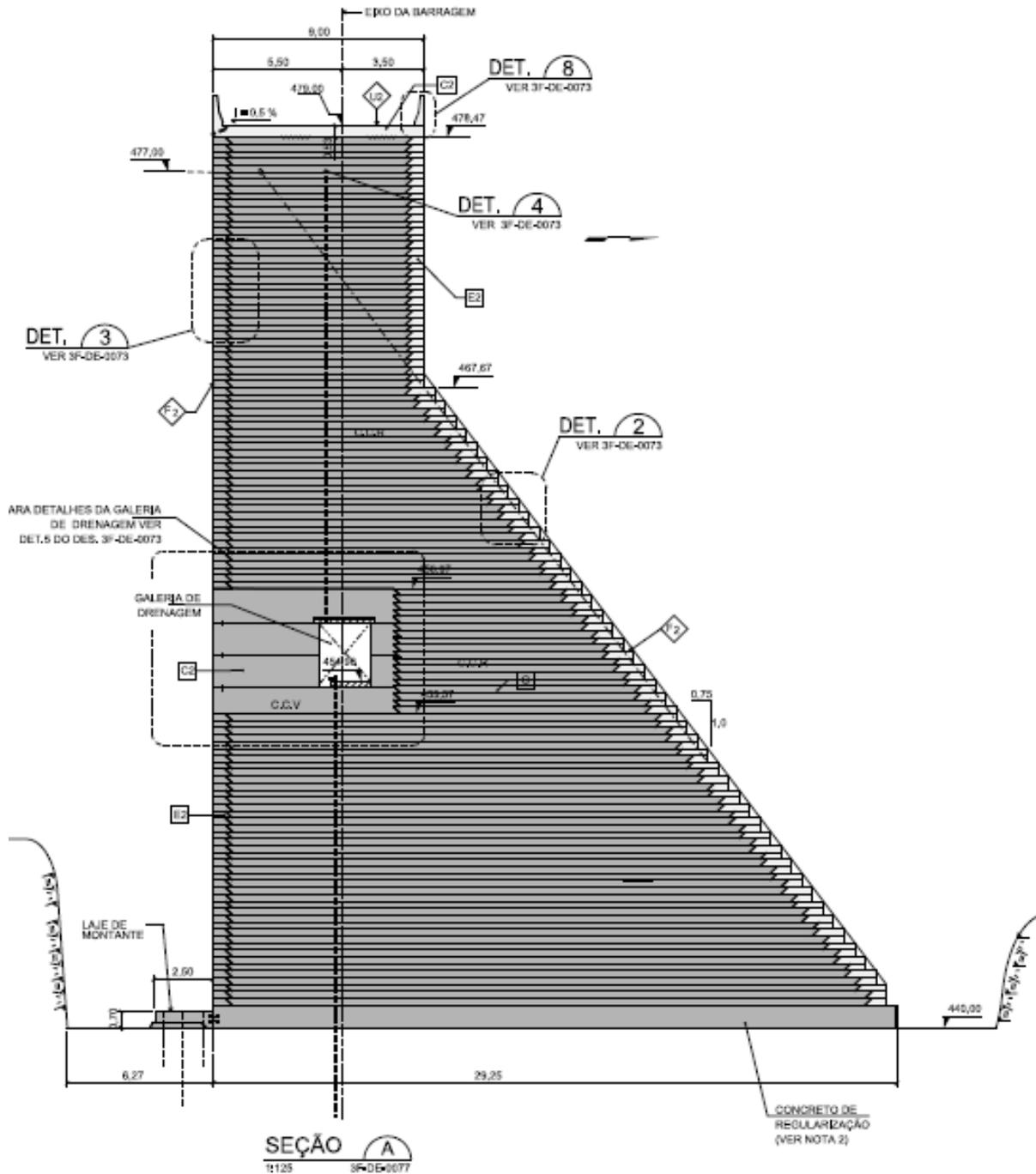


Figura 17 - Estruturas de Concreto Bloco 4.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 3 e 4 – EL. 440,00 até EL. 481,20 – Forma – Plantas e Seções (1027/BP-3F-DE-0078).

PONTO DE TOMBAMENTO: X = 29.25
Y = 440.00

VOLUMES

NMT	MATERIAL	XCG	YCG	VOLUME
1	CONCRETO CCR	9.67	454.87	633.35
2	AGUA (CCN)	27.50	446.00	30.38
3	AGUA (CCE1)	26.17	449.53	76.86

4.12.1 Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)

Nesta condição de carregamento as forças atuantes na estrutura têm grande probabilidade de ocorrência simultânea e a condição hidrológica é a considerada Normal, sendo esta, caracterizada pelos níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 18 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 4, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

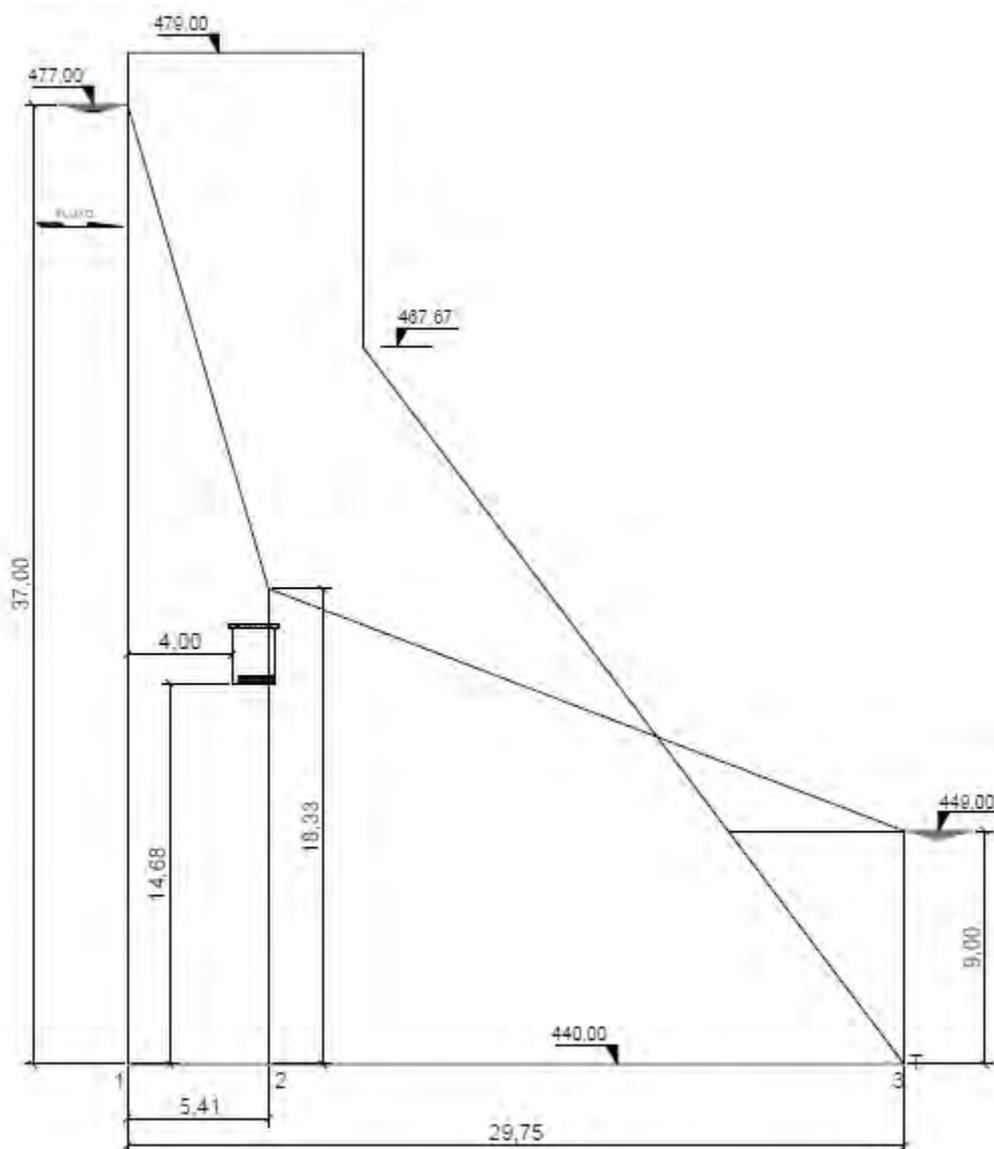


Figura 18 - Diagrama de Subpressões na Fundação do Bloco 4 (CCN1).

CARREGAMENTO - 1 - CCN- CONDICAÇÃO DE CARREGAMENTO NORMAL-1

=====

SUBPRESSÃO

=====

NPS	NO	SUBPRESSÃO
1	1	370.00
2	2	183.30
3	3	90.00

ESFORÇOS DA SUBPRESSÃO

=====

NLF	N1	N2	FORÇA X	FORÇA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1493.91	.00	3579.88
2	2	3	.00	3327.43	.00	53869.56
TOTAL .....			.00	4821.34		57449.44

EMPUXO D'ÁGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.ÁGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM		
				FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO	
1	8	1	1.00	477.00	6845.00	.00	-3096222.00
2	3	13	1.00	449.00	-405.00	.00	179415.00
TOTAL				6440.00	.00		-2916807.00

FORÇAS APLICADAS

=====

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	453.00	49.50	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 307115.60
 MOMENTO TOMBAMENTO = 171050.50
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.80

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -15504.06
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 4821.34
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUAÇÃO = 3.22

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	218.13	-204.24	-204.24	218.13
	2	218.13	-260.45	-260.45	218.13
2	2	218.13	-260.45	-260.45	218.13
	3	218.13	-513.92	-513.92	218.13

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.23

Tabela 13. Resumo dos resultados CCN1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	1.80	3.22	1.23	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 4 é estável para a condição normal de carregamento 1 (CCN1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.12.2 Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)

Nesta condição de carregamento (CCN2 – Subpressão da Piezometria) foram considerados os níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 19 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 4, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

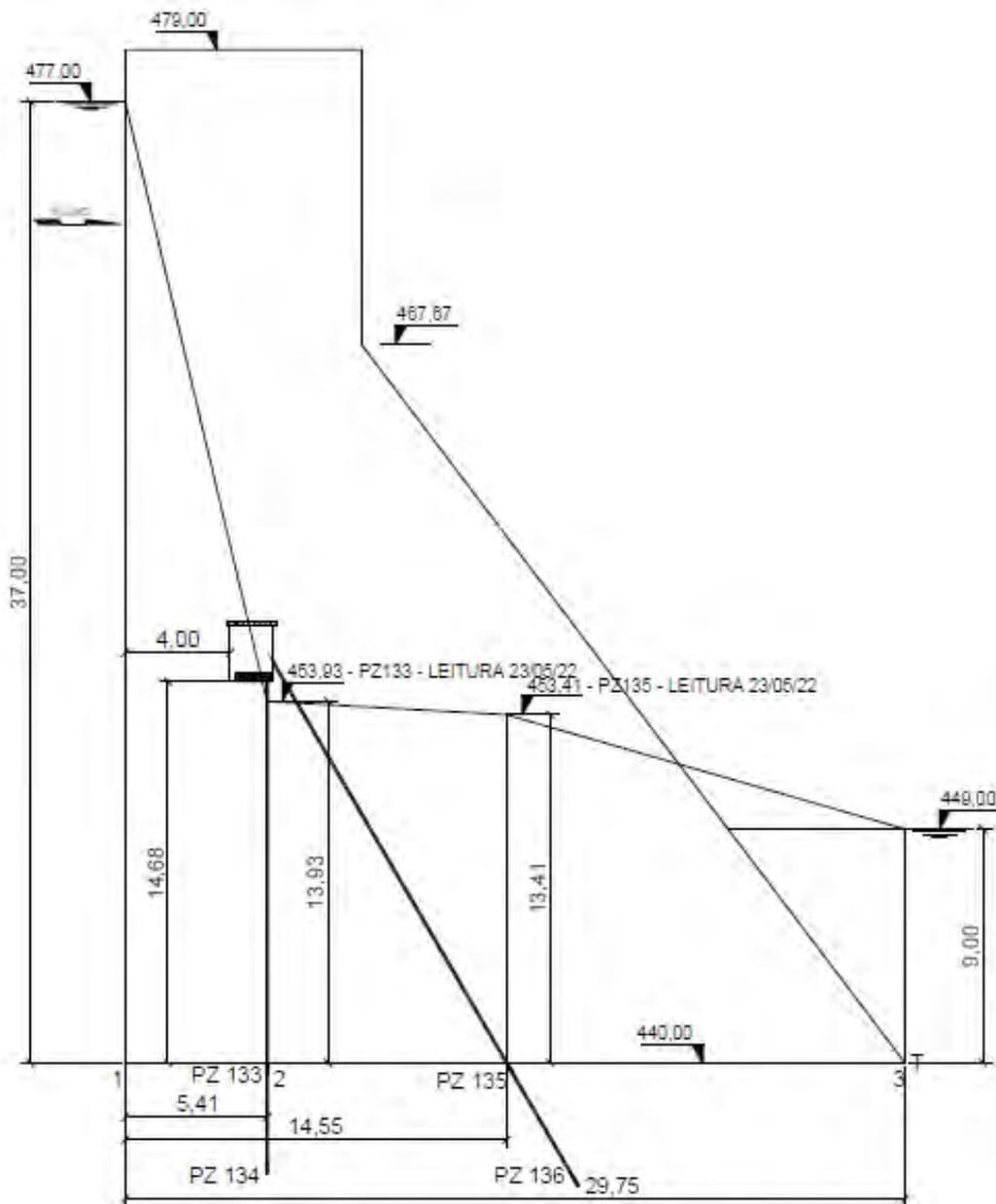


Figura 19 - Diagrama de Subpressões na Fundação do Bloco 4 (CCN2).

CARREGAMENTO - 2 - CCN- CONDICAÇÃO DE CARREGAMENTO NORMAL-2
SUBPRESSÃO

NPS	NO	SUBPRESSÃO
1	1	370.00
2	2	139.30
3	17	134.10
4	3	90.00

ESFORÇOS DA SUBPRESSÃO

NLF	N1	N2	FORÇA X	FORÇA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1375.11	.00	3152.20
2	2	17	.00	1250.81	.00	12440.50
3	17	3	.00	1703.16	.00	36875.92
TOTAL .....			.00	4329.08		52468.62

EMPUXO D'ÁGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.ÁGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM	
				FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
1	8	1	1.00	477.00	6845.00	-3096222.00
2	3	13	1.00	449.00	-405.00	179415.00
TOTAL				6440.00	.00	-2916807.00

FORÇAS APLICADAS

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	453.00	49.50	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 307115.60
 MOMENTO TOMBAMENTO = 161386.50
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.90

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -15504.06
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 4329.08
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUAÇÃO = 3.58

TENSÃO NOS PONTOS DE FUNDACÃO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	218.13	-236.66	218.13	-236.66
	2	218.13	-287.11	218.13	-287.11
2	2	218.13	-287.11	218.13	-287.11
	17	218.13	-372.59	218.13	-372.59
3	17	218.13	-372.59	218.13	-372.59
	3	218.13	-514.60	218.13	-514.60

FATOR DE MINORAÇÃO DO ATRITO = 1.50
 FATOR DE MINORAÇÃO DA COESÃO = 3.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.27

Tabela 14. Resumo dos resultados CCN2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN2	1.90	3.58	1.27	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 4 é estável para a condição normal de carregamento 2 (CCN2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.12.3 Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1) foi verificada a estabilidade para os níveis máximos de enchente.

A Figura 20 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 4, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

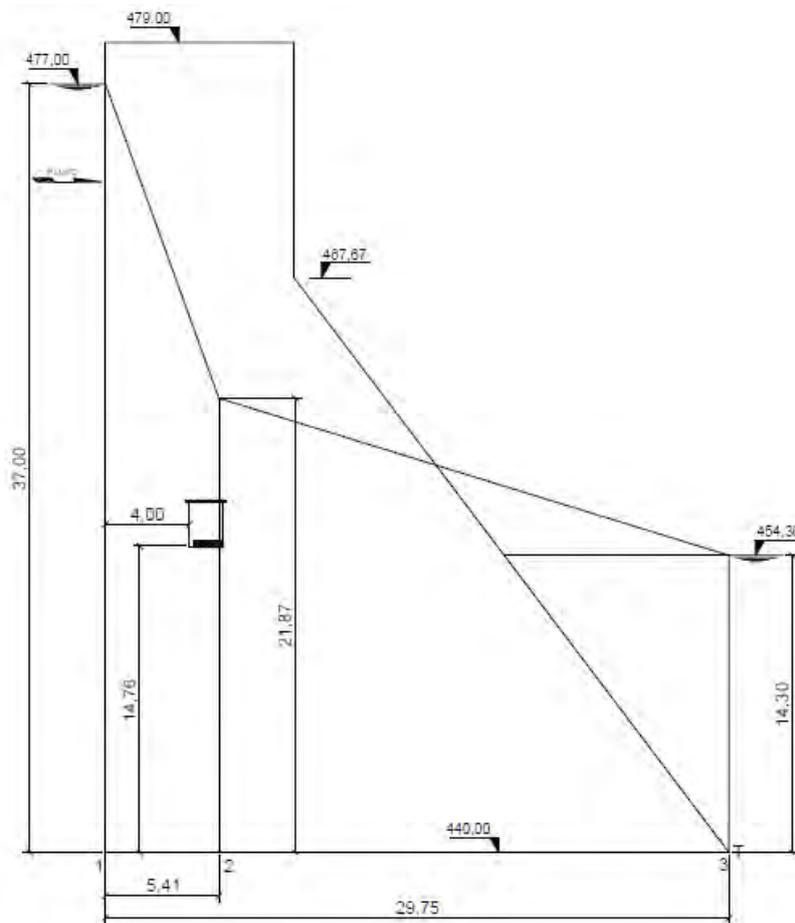


Figura 20 - Diagrama de Subpressões na Fundação do Bloco 4 (CCE1).

CARREGAMENTO - 3 - CCE- CONDICAO DE CARREG. DE ENCHENTE

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	370.00
2	2	218.70
3	3	143.00

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1589.49	.00	3923.96
2	2	3	.00	4403.70	.00	73654.63
TOTAL .....			.00	5993.19		77578.59

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	8	1	1.00	477.00	6845.00	.00	-3096222.00
2	3	15	1.00	454.30	-1022.45	.00	454750.90
TOTAL				5822.55	.00		-2641471.00

FORCAS APLICADAS

=====

COORD. X	COORD. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
.00	453.00	49.50	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 312845.00
 MOMENTO TOMBAMENTO = 185783.90
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.68

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -15968.94
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 5993.19
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 2.66

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	197.38	-190.73	-190.73	197.38
	2	197.38	-243.22	-243.22	197.38
2	2	197.38	-243.22	-243.22	197.38
	3	197.38	-479.91	-479.91	197.38

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.60

Tabela 15. Resumo dos resultados CCE1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE1	1.68	2.66	1.60	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 4 é estável para a condição excepcional de carregamento 1 (CCE1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.12.4 Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2) foi verificada a hipótese de drenagem 50% inoperante.

A Figura 21 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 4, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

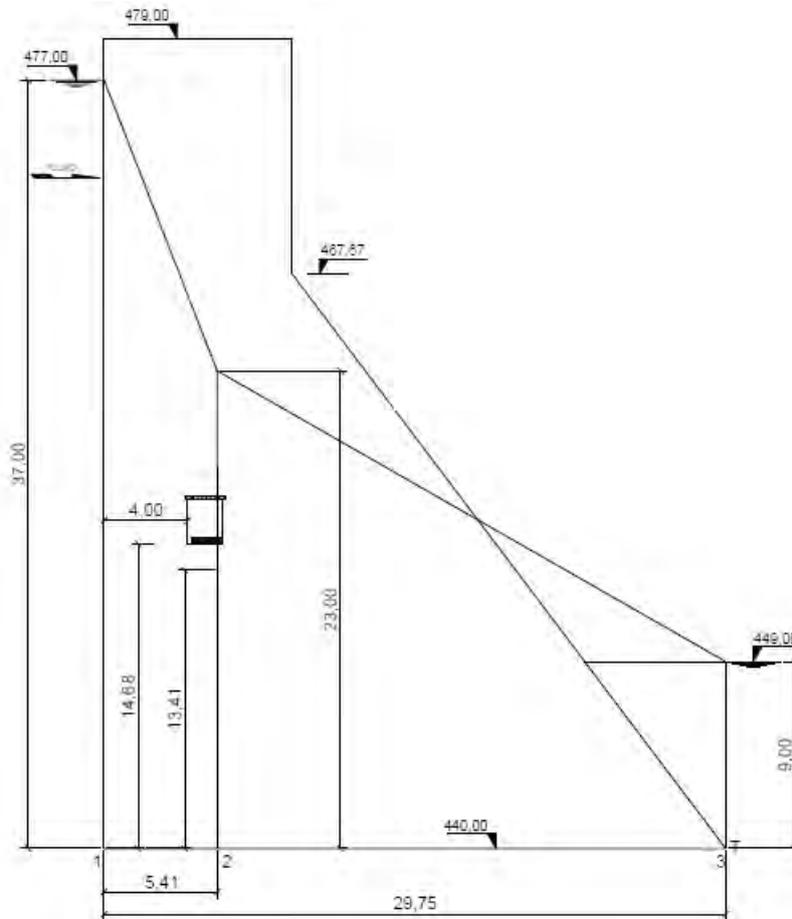


Figura 21 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco 4 (CCE2).

CARREGAMENTO - 4 - CCE- CONDICAO DE CARREG. DRENAGEM 50%

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	370.00
2	2	230.00
3	3	90.00

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1620.00	.00	4033.80
2	2	3	.00	3896.00	.00	61554.77
TOTAL	.....		.00	5516.00		65588.57

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	8	1	1.00	477.00	6845.00	.00	-3096222.00
2	3	13	1.00	449.00	-405.00	.00	179415.00
TOTAL	.....			6440.00	.00		-2916807.00

FORÇAS APLICADAS

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	453.00	49.50	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 307115.60
 MOMENTO TOMBAMENTO = 183577.60
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.67

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -15504.06
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 5516.00
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 2.81

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	218.13	-166.02	-166.02	218.13
	2	218.13	-227.63	-227.63	218.13
2	2	218.13	-227.63	-227.63	218.13
	3	218.13	-505.45	-505.45	218.13

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.45

Tabela 16. Resumo dos resultados CCE1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE2	1.67	2.81	1.45	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 4 é estável para a condição excepcional de carregamento 2 (CCE2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.12.5 Condição de Carregamento Limite (CCL)

Na situação da condição de Carregamento Limite (CCL) foi verificada a hipótese de drenagem 100% inoperante.

A Figura 22 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco 4, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

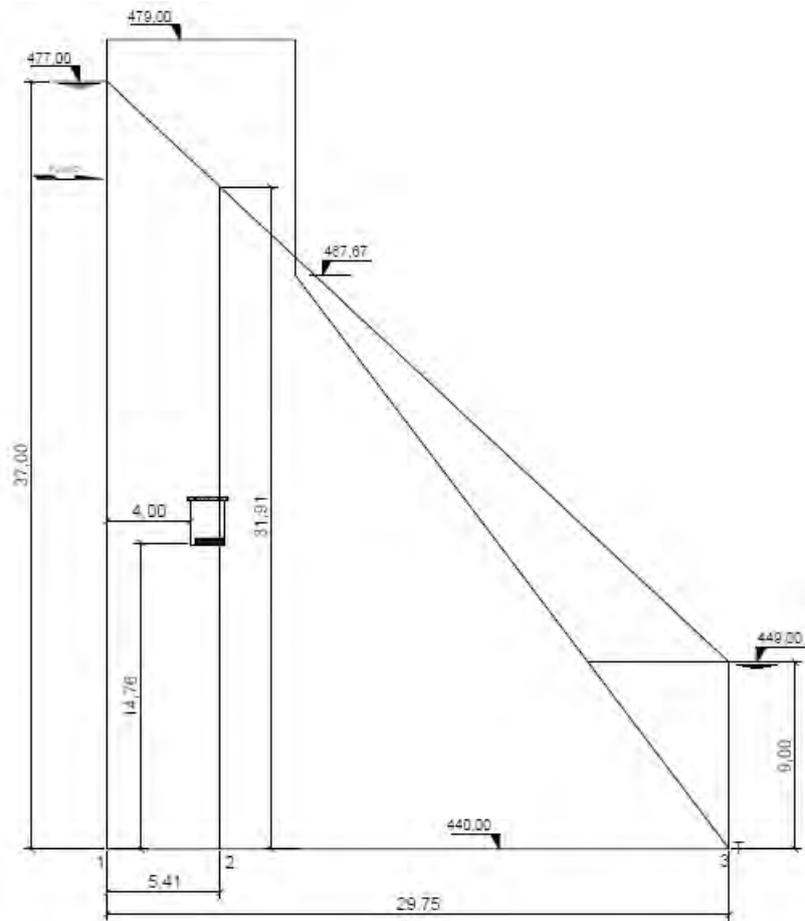


Figura 22 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco 4 (CCL).

CARREGAMENTO - 5 - CCL CONDICAO DE BOMBEAMENTO INOPERANTE

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	370.00
2	2	319.10
3	3	90.00

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1860.57	.00	4899.85
2	2	3	.00	4980.79	.00	76217.55
TOTAL	.....		.00	6841.36		81117.40

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA		ESFORÇOS NA ORIGEM	
				FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO	
1	8	1	1.00	477.00	6845.00	.00	-3096222.00
2	3	13	1.00	449.00	-405.00	.00	179415.00
TOTAL				6440.00	.00	-2916807.00	

FORÇAS APLICADAS
=====

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	453.00	49.50	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 307115.60
MOMENTO TOMBAMENTO = 207478.30
F.S. AO TOMBAMENTO = 1.48

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -15504.06
RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 6841.36
FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 2.27

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO
=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	218.13	-93.09	-93.09	218.13
	2	218.13	-165.00	-165.00	218.13
2	2	218.13	-165.00	-165.00	218.13
	3	218.13	-489.27	-489.27	218.13

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.10
FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 1.50
F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.63

Tabela 17. Resumo dos resultados CCL

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCL	1.48	2.27	1.63	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco 4 é estável para a condição limite de carregamento (CCL), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.13 ESTRUTURAS DE CONCRETO – BLOCOS 5 e 6

A análise foi realizada nos Blocos 5 e 6 das estruturas de CCR do aproveitamento, sendo esta destacada na Figura 23 e com seção de corte apresentada na Figura 24.

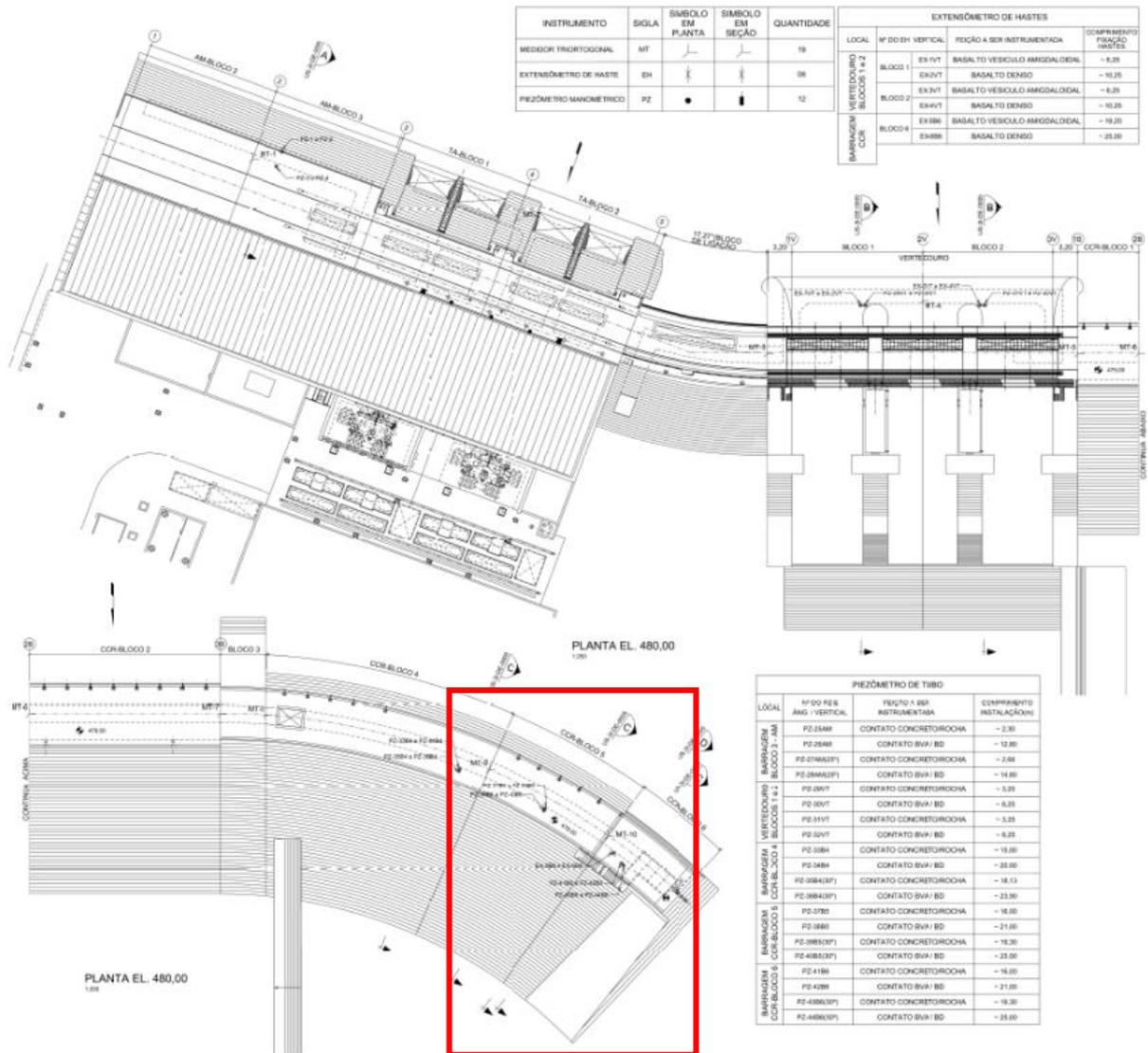


Figura 23 - Seção das estruturas de concreto Blocos 5 e 6.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem de CCR, Vertedouro e Bloco 3 da Área de Montagem – Instrumentação – Plantas (1027/US-3I-DE-0004).

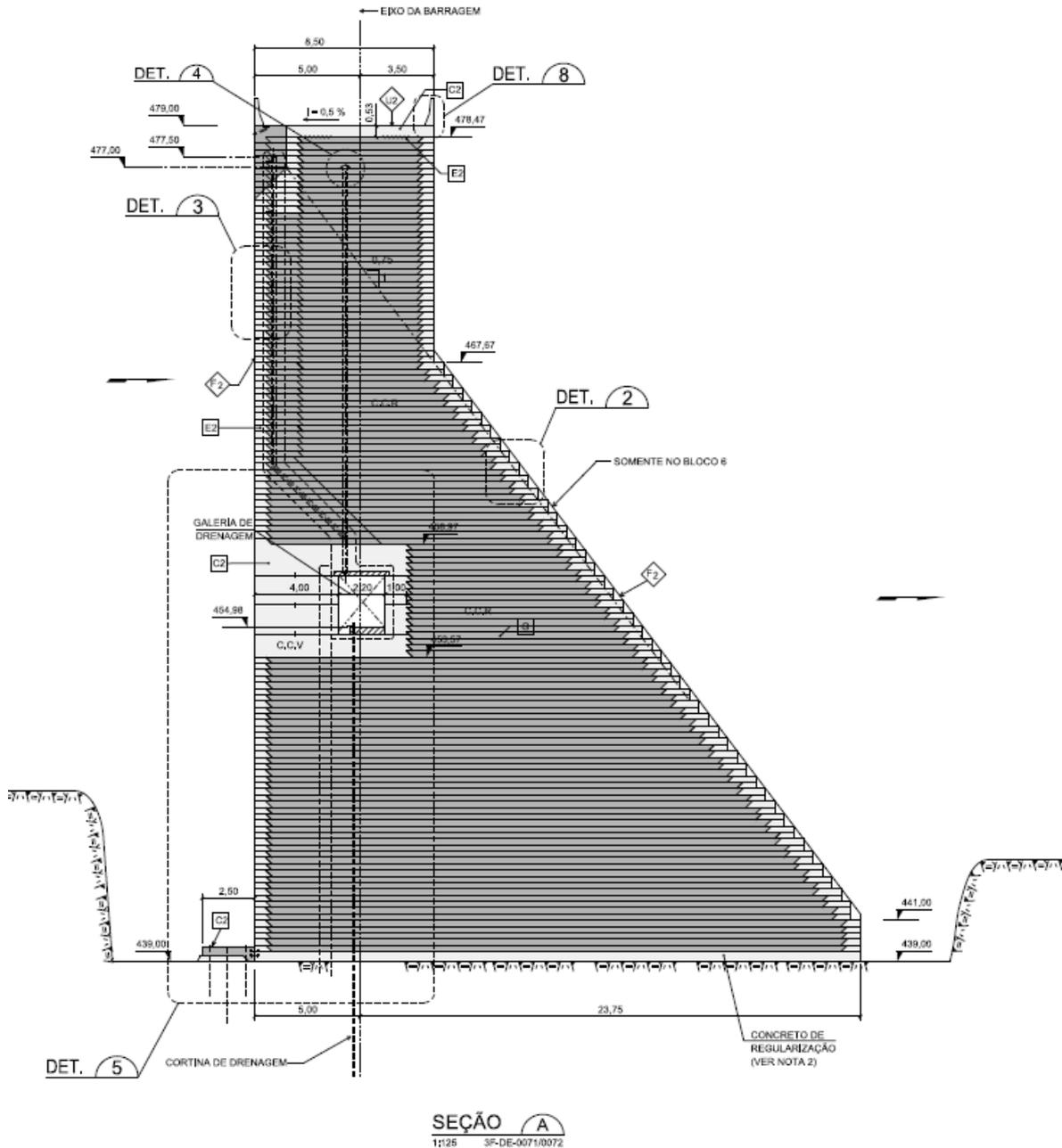


Figura 24 – Estruturas de Concreto Blocos 5 e 6.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Blocos 5 e 6 – EL. 439,00 até EL. 481,20 – Forma – Seção, Vista e Detalhes (1027/BP-3F-DE-0073).

PONTO DE TOMBAMENTO: X = 28.75
Y = 439.00

MATERIAIS

NMT	P.ESPEC.	MATERIAL
1	24.00	CONCRETO CCR
2	10.00	AGUA (CCN)
3	10.00	AGUA (CCE1)

VOLUMES

NMT	MATERIAL	XCG	YCG	VOLUME
1	CONCRETO CCR	9.74	454.02	645.80
2	AGUA (CCN)	26.72	446.33	24.40
3	AGUA (CCE1)	25.38	449.87	67.16

4.13.1 Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)

Nesta condição de carregamento as forças atuantes na estrutura têm grande probabilidade de ocorrência simultânea e a condição hidrológica é a considerada Normal, sendo esta, caracterizada pelos níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 25 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação dos blocos 5 e 6, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

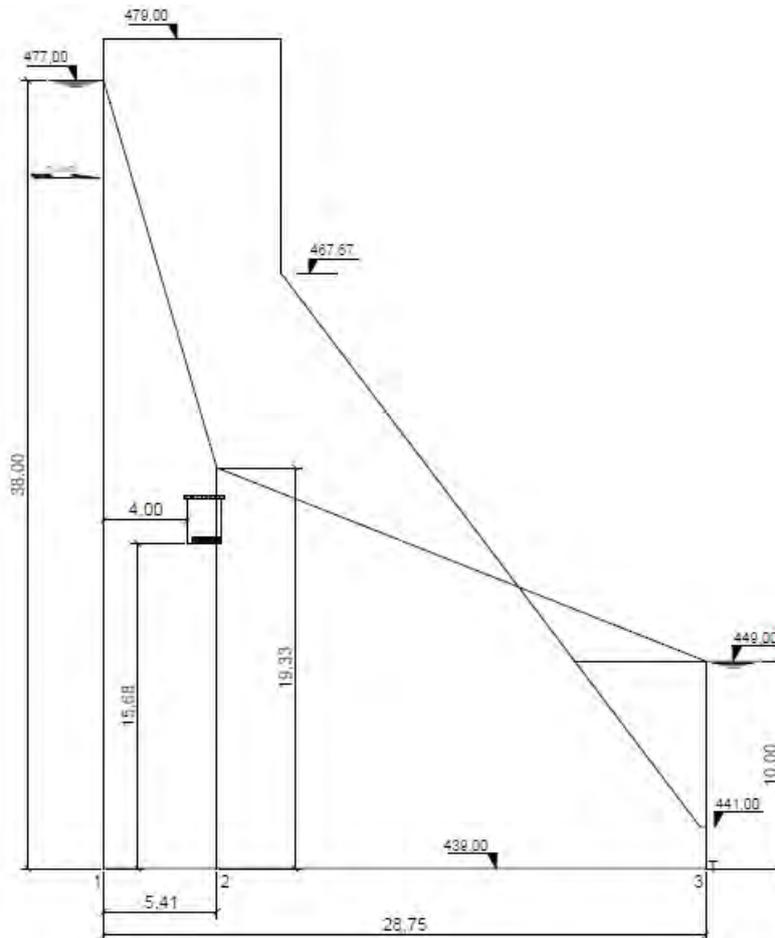


Figura 25 - Diagrama de Subpressões na Fundação dos Blocos 5 e 6 (CCN1).

CARREGAMENTO - 1 - CCN- CONDICAO DE CARREGAMENTO NORMAL-1

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS NO SUBPRESSAO

1	1	380.00
2	2	193.30
3	3	100.00

ESFORÇOS DA SUBPRESSAO

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1547.91	.00	3725.68
2	2	3	.00	3424.28	.00	54230.43
TOTAL .....			.00	4972.19		57956.11

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	8	1	1.00	477.00	7220.00	.00	-3261033.00
2	3	13	1.00	449.00	-500.00	.00	221166.70
TOTAL				6720.00	.00		-3039867.00

FORCAS APLICADAS

COORD. X	COORD. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
.00	452.35	52.00	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 296730.50
 MOMENTO TOMBAMENTO = 177141.80
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.68

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -15743.29
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 4972.19
 FATOR SEGURANEA · FLUTUACAO = 3.17

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	235.55	-118.80	-118.80	235.55
	2	235.55	-214.91	-214.91	235.55
2	2	235.55	-214.91	-214.91	235.55
	3	235.55	-630.50	-630.50	235.55

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
 F. SEGURANEA ESCORREGAMENTO = 1.17

Tabela 18. Resumo dos resultados CCN1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	1.68	3.17	1.17	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão

admissível, conclui-se que os Blocos 5 e 6 são estáveis para a condição normal de carregamento 1 (CCN1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.13.2 Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)

Nesta condição de carregamento (CCN2 – Subpressão da Piezometria) foram considerados os níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 26 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação dos blocos 5 e 6, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

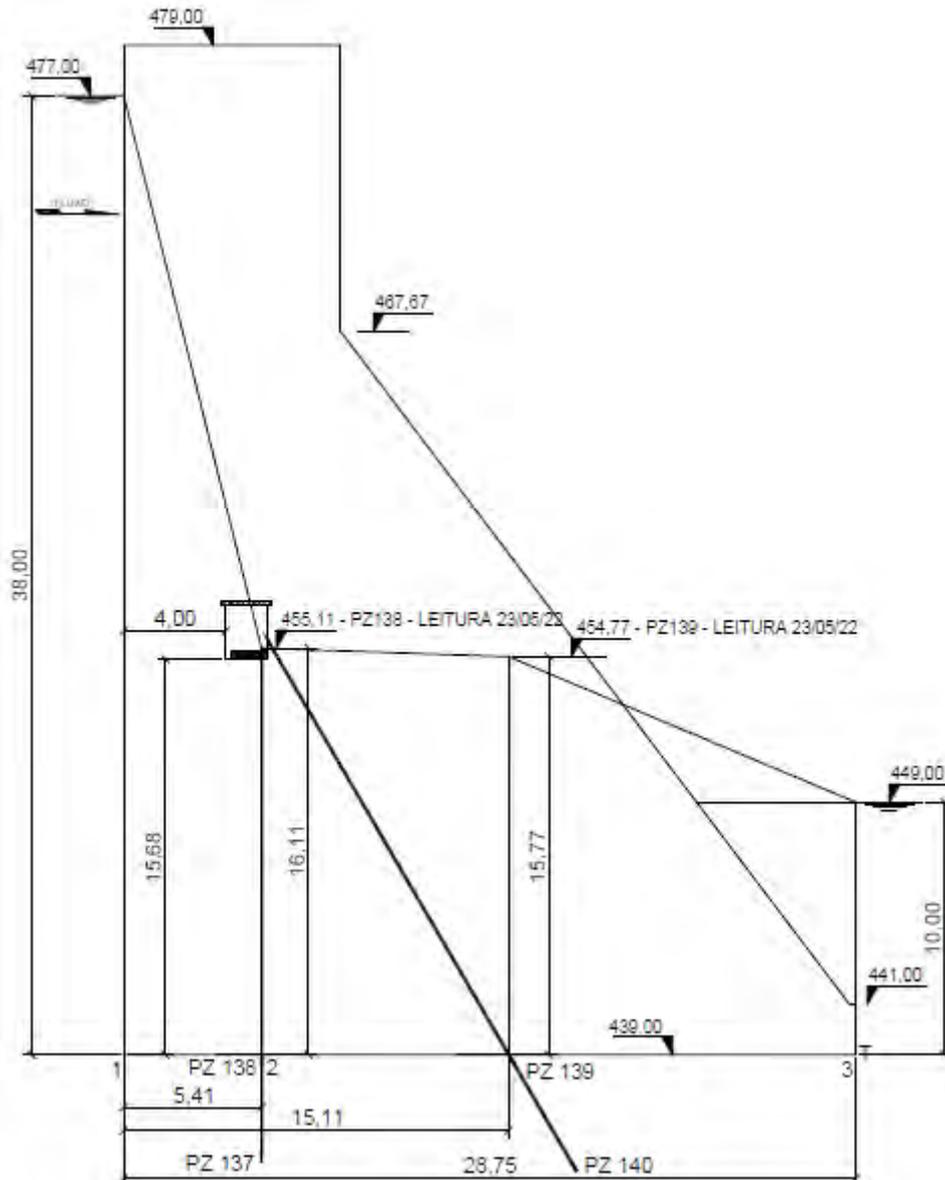


Figura 26 - Diagrama de Subpressões na Fundação dos Blocos 5 e 6 (CCN2).

CARREGAMENTO - 2 - CCN- CONDICAO DE CARREGAMENTO NORMAL-2

=====

SUBPRESSAO

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	380.00
2	2	161.10
3	17	157.70
4	3	100.00

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1460.97	.00	3412.69
2	2	17	.00	1546.18	.00	15821.69
3	17	3	.00	1758.80	.00	37665.84
TOTAL .....			.00	4765.95		56900.22

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	8	1	1.00	477.00	7220.00	.00	-3261033.00
2	3	13	1.00	449.00	-500.00	.00	221166.70
TOTAL				6720.00	.00		-3039867.00

FORCAS APLICADAS

COORD. X	COORD. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
.00	452.35	52.00	.00	.00

MOMEMTO RESISTENTE = 296730.50
 MOMENTO TOMBAMENTO = 172268.50
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.72

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -15743.29
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 4765.95
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 3.30

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	235.55	-139.83	-139.83	235.55
	2	235.55	-230.73	-230.73	235.55
2	2	235.55	-230.73	-230.73	235.55
	17	235.55	-394.03	-394.03	235.55
3	17	235.55	-394.03	-394.03	235.55
	3	235.55	-623.81	-623.81	235.55

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.19

Tabela 19. Resumo dos resultados CCN2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
----------------------	------------	-----------	----------------	------------------------------------	----------------------

CCN2	1.72	3.30	1.19	0,0	0
------	------	------	------	-----	---

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que os Blocos 5 e 6 são estáveis para a condição normal de carregamento 2 (CCN2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.13.3 Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1) foi verificada a estabilidade para os níveis máximos de enchente.

A Figura 27 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação dos blocos 5 e 6, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

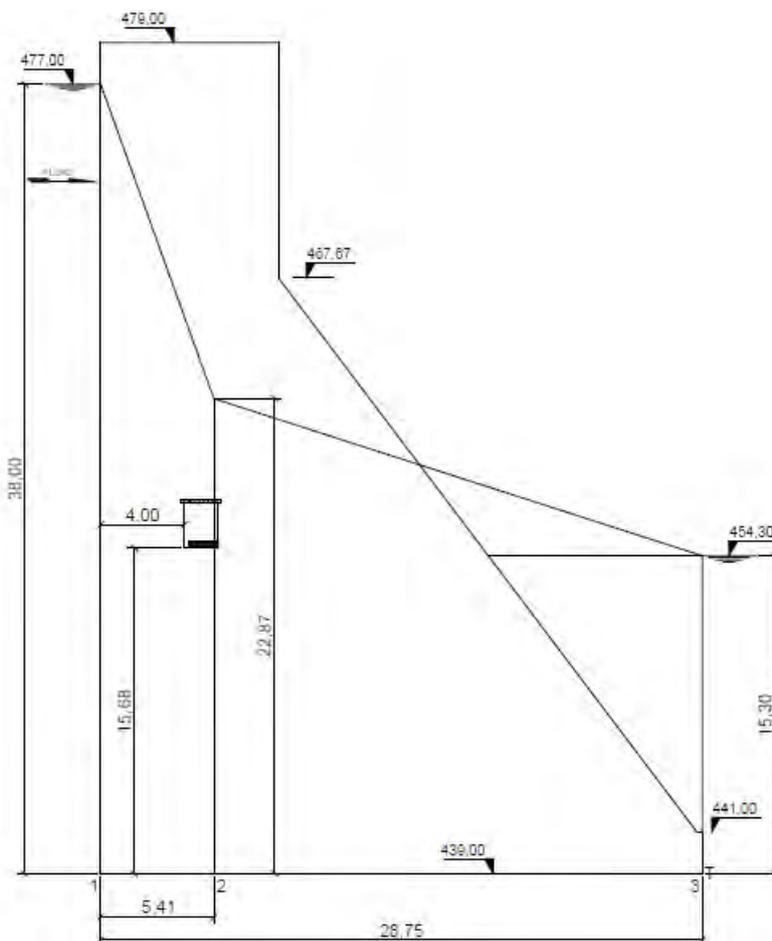


Figura 27 - Diagrama de Supressões na Fundação dos Blocos 5 e 6 (CCE1).

CARREGAMENTO - 3 - CCE- CONDICAO DE CARREG. DE ENCHENTE

SUBPRESSAO

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	380.00
2	2	228.70
3	3	153.00

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1643.49	.00	4069.76
2	2	3	.00	4456.35	.00	72652.70
TOTAL .....			.00	6099.84		76722.46

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	8	1	1.00	477.00	7220.00	.00	-3261033.00
2	3	15	1.00	454.30	-1170.45	.00	519796.00
TOTAL				6049.55	.00		-2741237.00

FORCAS APLICADAS

COORD. X	COORD. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
.00	452.35	52.00	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 302798.20
 MOMENTO TOMBAMENTO = 190795.40
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.59

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -16170.94
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 6099.84
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 2.65

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	212.23	-112.43	-112.43	212.23
	2	212.23	-201.78	-201.78	212.23
2	2	212.23	-201.78	-201.78	212.23
	3	212.23	-588.17	-588.17	212.23

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.54

Tabela 20. Resumo dos resultados CCE1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE1	1.59	2.65	1.54	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que os Blocos 5 e 6 são estáveis para a condição excepcional de carregamento 1 (CCE1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.13.4 Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2) foi verificada a hipótese de drenagem 50% inoperante.

A Figura 28 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação dos blocos 5 e 6, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

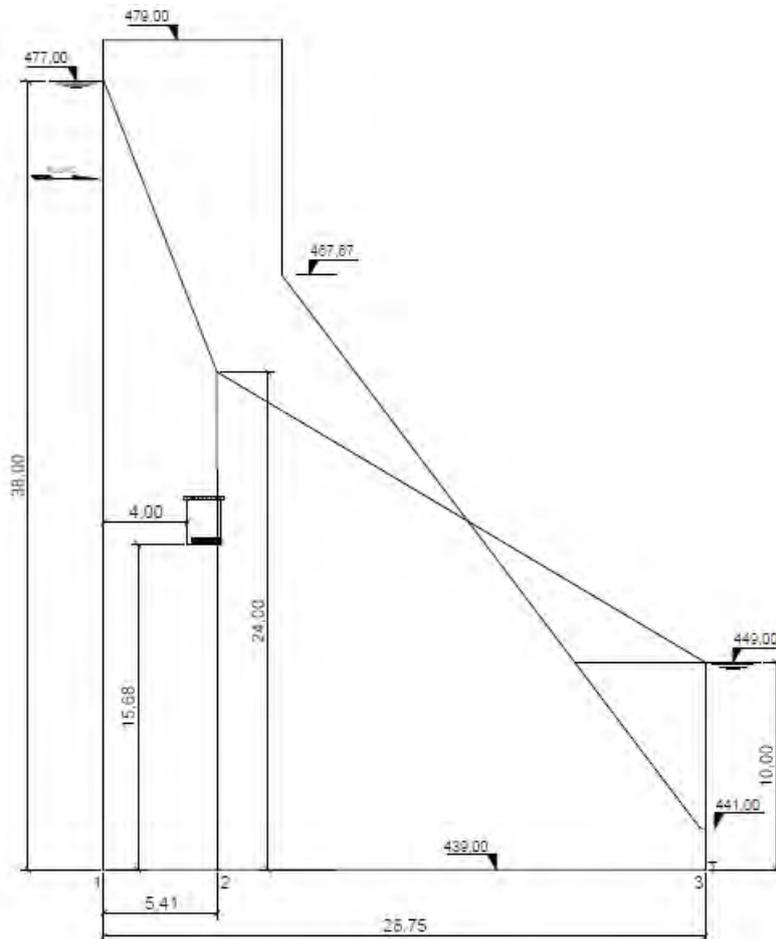


Figura 28 - Diagrama de Subpressões na Fundação dos Blocos 5 e 6 (CCE2).

CARREGAMENTO - 4 - CCE- CONDICAO DE CARREG. DRENAGEM 50%

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	380.00
2	2	240.00

3 3 100.00

ESFORÇOS DA SUBPRESSÃO

=====

NLF	N1	N2	FORÇA X	FORÇA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1674.00	.00	4179.60
2	2	3	.00	3969.50	.00	61418.28
TOTAL .....			.00	5643.50		65597.88

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM		
				FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO	
1	8	1	1.00	477.00	7220.00	.00	-3261033.00
2	3	13	1.00	449.00	-500.00	.00	221166.70
TOTAL				6720.00	.00		-3039867.00

FORÇAS APLICADAS

=====

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	452.35	52.00	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 296730.50
 MOMENTO TOMBAMENTO = 188800.30
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.57

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -15743.29
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 5643.50
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUAÇÃO = 2.79

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	235.55	-80.87	-80.87	235.55
	2	235.55	-182.46	-182.46	235.55
2	2	235.55	-182.46	-182.46	235.55
	3	235.55	-621.72	-621.72	235.55

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.39

Tabela 21. Resumo dos resultados CCE2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE2	1.57	2.79	1.39	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que os Blocos 5 e 6 são estáveis para a condição excepcional de carregamento 2 (CCE2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.13.5 Condição de Carregamento Limite (CCL)

Na situação da condição de Carregamento Limite (CCL) foi verificada a hipótese de drenagem 100% inoperante.

A Figura 29 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação dos blocos 5 e 6, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

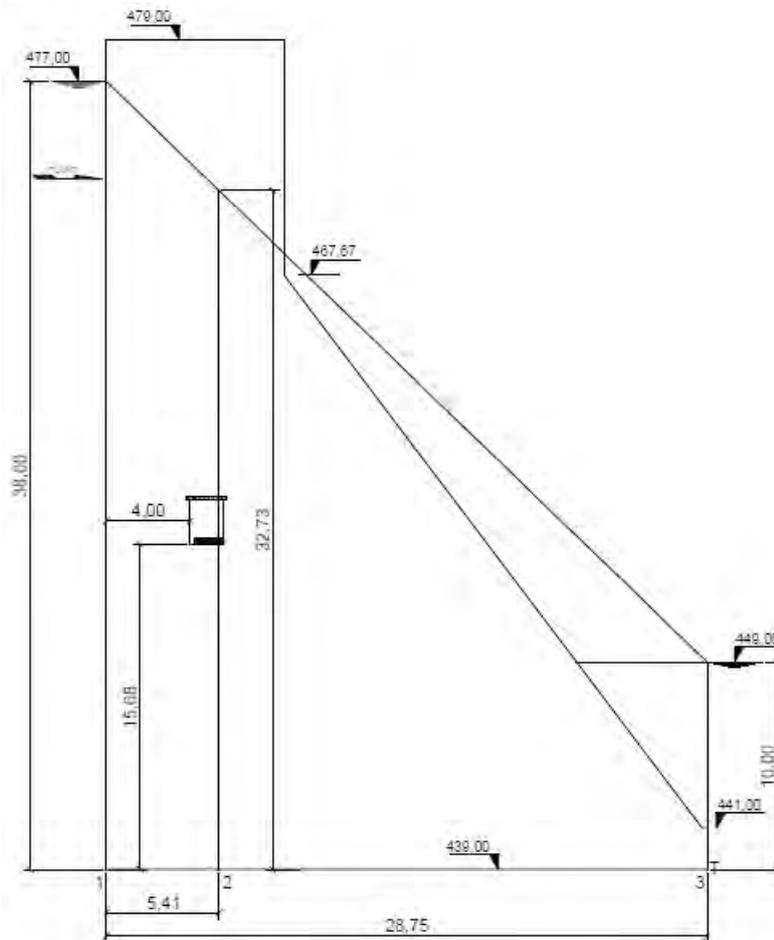


Figura 29 - Diagrama de Supressões na Fundação dos Blocos 5 e 6 (CCL).

CARREGAMENTO - 5 - CCL CONDICAO DE BOMBEAMENTO INOPERANTE

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	380.00
2	2	327.30
3	3	100.00

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	1909.71	.00	5028.16
2	2	3	.00	4988.73	.00	74855.10

TOTAL00 6898.44 79883.26

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA		ESFORÇOS NA ORIGEM	
				FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO	
1	8	1	1.00	477.00	7220.00	.00	-3261033.00
2	3	13	1.00	449.00	-500.00	.00	221166.70

TOTAL 6720.00 .00 -3039867.00

FORÇAS APLICADAS

=====

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	452.35	52.00	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 296730.50
 MOMENTO TOMBAMENTO = 210594.40
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.41

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -15743.29
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 6898.44
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 2.28

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	235.55	-9.97	-9.97	235.55
2	2	235.55	-121.79	-121.79	235.55
2	2	235.55	-121.79	-121.79	235.55
	3	235.55	-605.33	-605.33	235.55

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.10
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 1.50
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.56

Tabela 22. Resumo dos resultados CCL

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCL	1.41	2.28	1.56	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que os Blocos 5 e 6 são estáveis para a condição limite de carregamento (CCL), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.14 ESTRUTURAS DE CONCRETO – BLOCO DE LIGAÇÃO

A análise foi realizada no Bloco de Ligação das estruturas do aproveitamento, sendo esta destacada na Figura 30 e com seção de corte apresentada na Figura 31.

Para esta estrutura, na Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2) - a qual considera os valores da piezometria atuante como subpressão, apresentou um diagrama atípico de subpressões, porém, como sabemos, as leituras da piezometria neste bloco são realmente atípicas, no entanto, mesmo nesta condição atípica de piezometria, o bloco de transição é estável e atende aos valores de segurança considerados.

A modelagem deste bloco considerou toda a sua largura, de formas a sabermos o seu peso real considerando o vazio localizado do poço de estocagem de comportas.

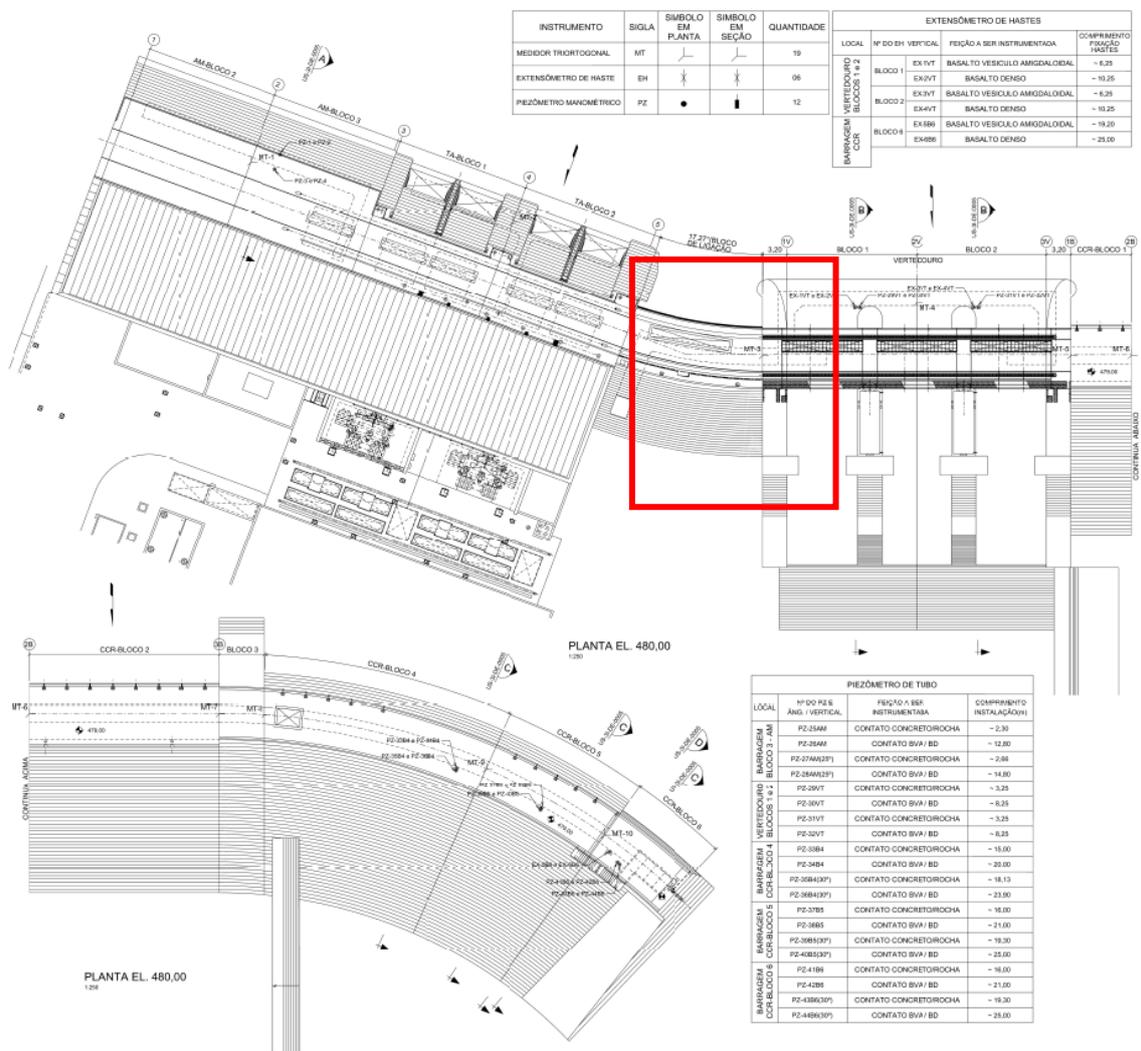


Figura 30 - Seção das estruturas de concreto Bloco de Ligação.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem de CCR, Vertedouro e Bloco 3 da Área de Montagem – Instrumentação – Plantas (1027/US-3I-DE-0004).

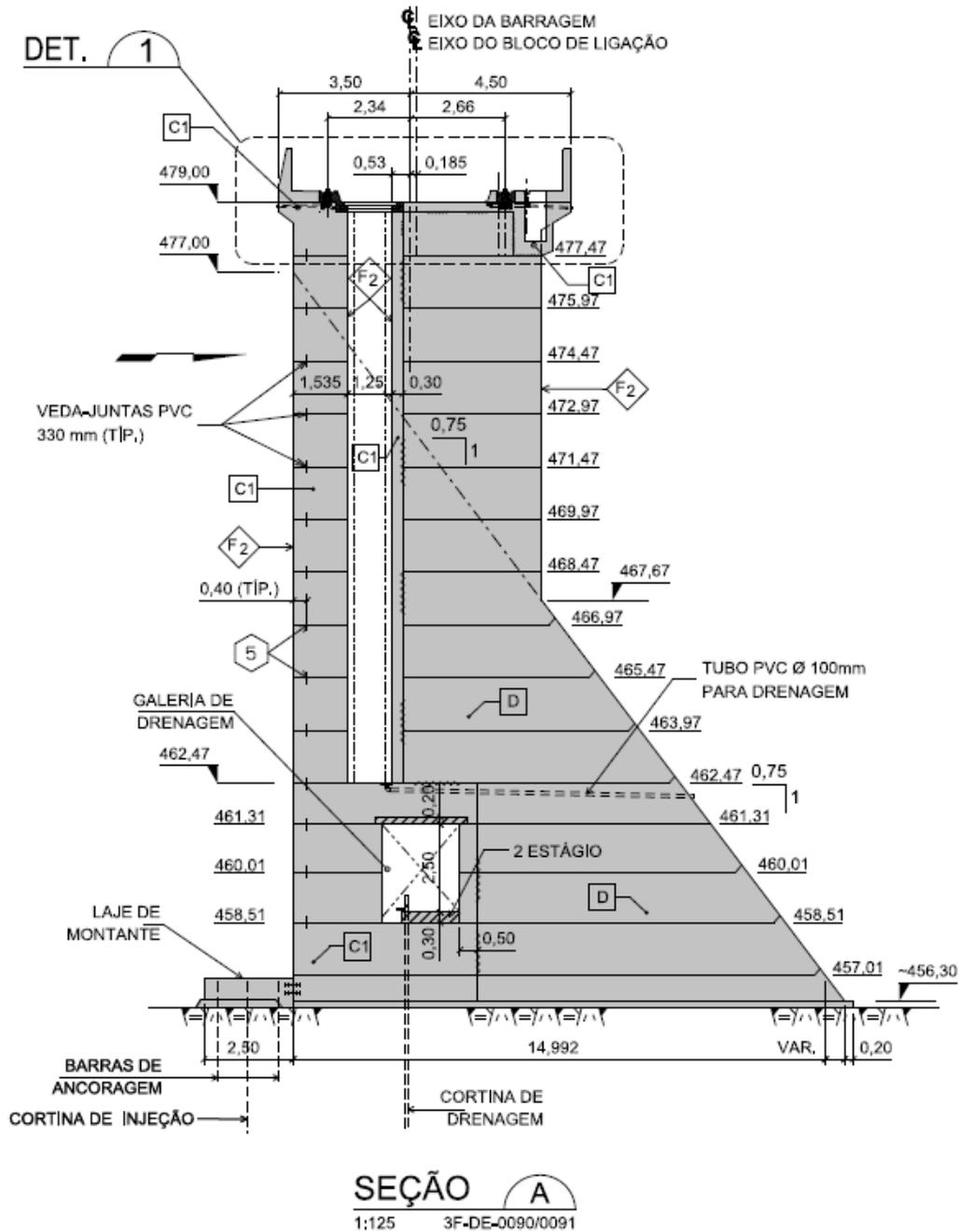


Figura 31 – Estruturas de Concreto Bloco de Ligação.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem – Bloco de Ligação – EL. 456,30 Até EL. 480,50 – Forma – Seções e Detalhes (1027/BP-3F-DE-0092)

PONTO DE TOMBAMENTO: X = 15.55
Y = 456.00

MATERIAIS

NMT	P.ESPEC.	MATERIAL
1	24.00	CONCRETO CCR

VOLUMES

NMT	MATERIAL	XCG	YCG	VOLUME
1	CONCRETO CCR	5.16	465.62	3732.62

4.14.1 Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)

Nesta condição de carregamento as forças atuantes na estrutura têm grande probabilidade de ocorrência simultânea e a condição hidrológica é a considerada Normal, sendo esta, caracterizada pelos níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 32 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco de ligação, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

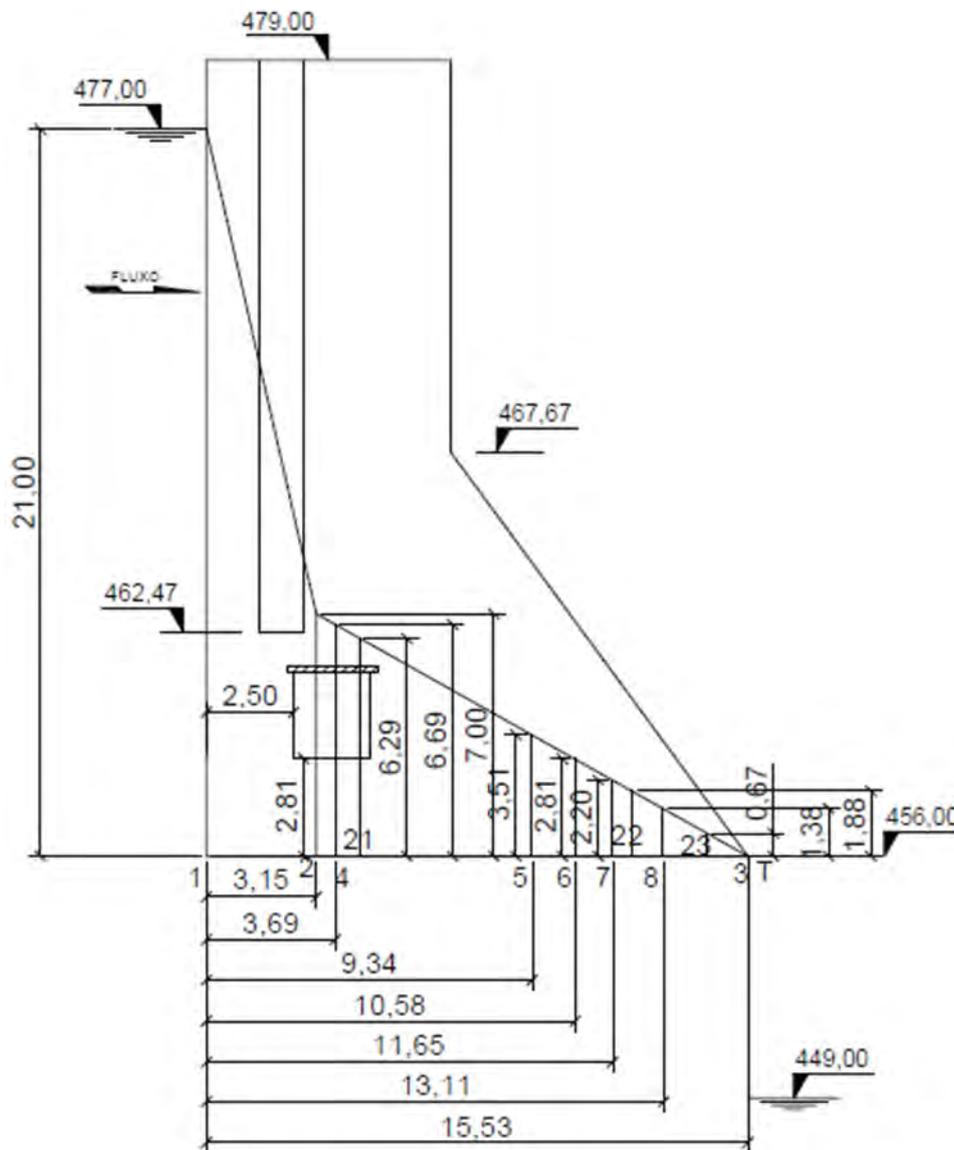


Figura 32 - Diagrama de Subpressões na Fundação do Bloco de Ligação (CCN1).

CARREGAMENTO - 1 - CCN1 CONDICAÇÃO DE CARREGAMENTO NORMAL-1

ACELERACAO

=====

MATERIAIS	DIR. X	DIR. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
CONCRETO CCR	.00	-1.00	.0	-89582.8	-462362.7

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	210.00
2	2	70.00
3	4	66.90
4	21	62.90
5	5	35.10
6	6	28.10
7	7	22.00
8	22	18.80
9	8	13.80
10	23	6.70
11	3	.01

ESFORÇOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORÇA X	FORÇA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	7408.80	.00	9724.05
2	2	4	.00	632.48	.00	2164.92
3	4	21	.00	763.22	.00	3088.31
4	21	5	.00	4414.41	.00	29315.97
5	5	6	.00	778.15	.00	7744.09
6	6	7	.00	518.16	.00	5753.48
7	7	22	.00	221.03	.00	2634.24
8	22	8	.00	300.74	.00	3797.38
9	8	23	.00	262.66	.00	3586.01
10	23	3	.00	86.16	.00	1270.86

TOTAL00 15385.80 69079.31

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM		
				FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO	
1	12	1	16.80	477.00	37044.00	.00	-17151370.00

TOTAL 37044.00 .00 -17151370.00

FORÇAS APLICADAS

=====

COORD. X	COORD. Y	FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO
.00	456.77	285.60	.00	.00

MOMENTO RESISTENTE = 930649.80
 MOMENTO TOMBAMENTO = 429697.80
 F.S. AO TOMBAMENTO = 2.17

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -89582.80

RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 15385.80
FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 5.82

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF NO		HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	128.76	-193.33	-193.33	128.76
	2	128.76	-223.13	-223.13	128.76
2	2	128.76	-223.13	-223.13	128.76
	4	128.76	-228.33	-228.33	128.76
3	4	128.76	-228.33	-228.33	128.76
	21	128.76	-234.95	-234.95	128.76
4	21	128.76	-234.95	-234.95	128.76
	5	128.76	-281.76	-281.76	128.76
5	5	128.76	-281.76	-281.76	128.76
	6	128.76	-293.58	-293.58	128.76
6	6	128.76	-293.58	-293.58	128.76
	7	128.76	-303.51	-303.51	128.76
7	7	128.76	-303.51	-303.51	128.76
	22	128.76	-308.72	-308.72	128.76
8	22	128.76	-308.72	-308.72	128.76
	8	128.76	-317.23	-317.23	128.76
9	8	128.76	-317.23	-317.23	128.76
	23	128.76	-329.05	-329.05	128.76
10	23	128.76	-329.05	-329.05	128.76
	3	128.76	-340.40	-340.40	128.76

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.63

Tabela 23. Resumo dos resultados CCN1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	2.17	5.82	1.63	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco de Ligação é estável para a condição normal de carregamento 1 (CCN1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.14.2 Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)

Nesta condição de carregamento (CCN2 – Subpressão da Piezometria) foram considerados os níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 33 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco de ligação, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

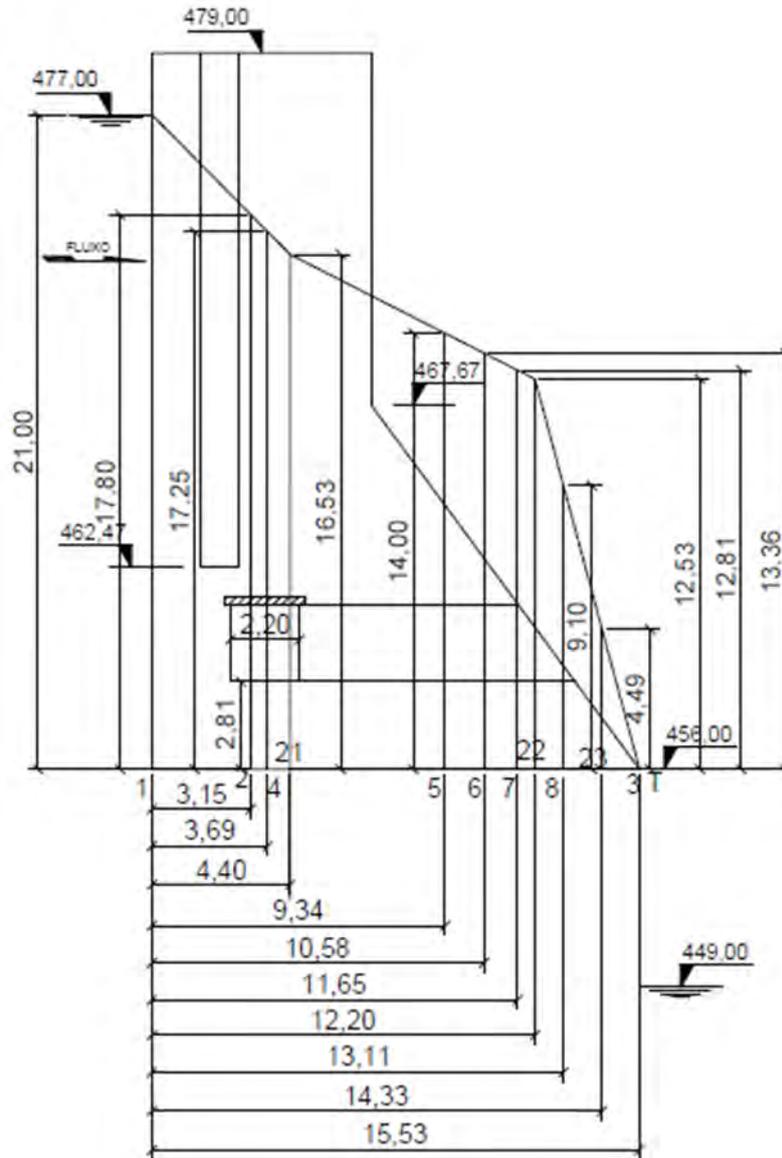


Figura 33 - Diagrama de Subpressões na Fundação do Bloco de Ligação (CCN2).

CARREGAMENTO - 2 - CCN2 CONDICA0 DE CARREGAMENTO NORMAL-2

ACELERACAO

MATERIAIS	DIR. X	DIR. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
CONCRETO CCR	.00	-1.00	.0	-89582.8	-462362.7

SUBPRESSAO

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	210.00
2	2	178.00
3	4	172.50
4	21	165.30
5	5	140.00
6	6	133.60
7	7	128.10
8	22	125.30
9	8	91.00
10	23	44.90
11	3	.01

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	10266.48	.00	15725.18
2	2	4	.00	1619.31	.00	5543.81
3	4	21	.00	1986.26	.00	8039.43
4	21	5	.00	13752.24	.00	93606.45
5	5	6	.00	3368.70	.00	33586.37
6	6	7	.00	2706.63	.00	30101.31
7	7	22	.00	1372.80	.00	16369.19
8	22	8	.00	1995.37	.00	25193.95
9	8	23	.00	1741.22	.00	23775.17
10	23	3	.00	576.64	.00	8505.56
TOTAL .....			.00	39385.65		260446.40

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	12	1	16.80	477.00	37044.00	.00	-17151370.00
TOTAL				37044.00	.00		-17151370.00

FORCAS APLICADAS

COORD. X	COORD. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
.00	456.77	285.60	.00	.00

ESFORCOS NA ORIGEM

FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
37329.60	-50197.15	-17483740.00

MOMENTO RESISTENTE = 930649.80
 MOMENTO TOMBAMENTO = 611528.30
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.52

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -89582.80
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 39385.65
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 2.27

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	128.76	-98.89	-98.89	128.76
	2	128.76	-127.67	-127.67	128.76
2	2	128.76	-127.67	-127.67	128.76
	4	128.76	-132.70	-132.70	128.76
3	4	128.76	-132.70	-132.70	128.76
	21	128.76	-139.10	-139.10	128.76
4	21	128.76	-139.10	-139.10	128.76
	5	128.76	-184.33	-184.33	128.76
5	5	128.76	-184.33	-184.33	128.76
	6	128.76	-195.75	-195.75	128.76
6	6	128.76	-195.75	-195.75	128.76
	7	128.76	-205.34	-205.34	128.76
7	7	128.76	-205.34	-205.34	128.76
	22	128.76	-210.37	-210.37	128.76
8	22	128.76	-210.37	-210.37	128.76
	8	128.76	-218.59	-218.59	128.76
8	8	128.76	-218.59	-218.59	128.76
	23	128.76	-230.02	-230.02	128.76
10	23	128.76	-230.02	-230.02	128.76
	3	128.76	-240.98	-240.98	128.76

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.27

Tabela 24. Resumo dos resultados CCN2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN2	1.52	2.27	1.27	0,0	0

Os fatores de segurança ao tombamento, flutuação e deslizamento são superiores ao mínimo, portanto conclui-se que o Bloco de Ligação é estável para a condição normal de carregamento 2 (CCN2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.14.3 Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1) foi verificada a estabilidade para os níveis máximos de enchente.

A Figura 4 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco de ligação, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

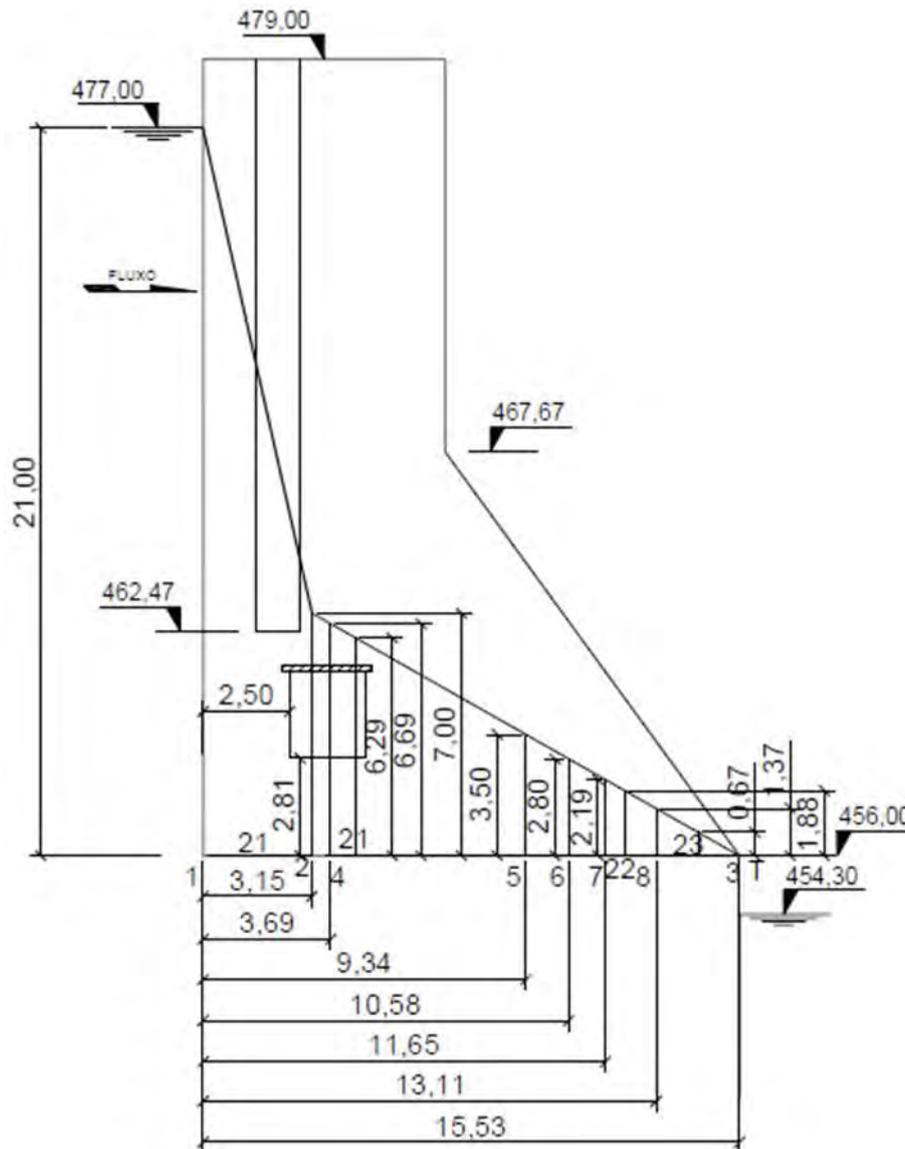


Figura 34 - Diagrama de Subpressões na Fundação do Bloco de Ligação (CCE1).

CARREGAMENTO - 3 - CCE1 CONDICAO DE CARREG. DE ENCHENTE

ACELERACAO

MATERIAIS DIR. X DIR. Y FORCA X FORCA Y MOMENTO
 CONCRETO CCR .00 -1.00 .0 -89582.8 -462362.7

SUBPRESSAO

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	210.00
2	2	70.00
3	4	66.90
4	21	62.90
5	5	35.00
6	6	28.00
7	7	21.90
8	22	18.80
9	8	13.70
10	23	6.70
11	3	.01

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	7408.80	.00	9724.05
2	2	4	.00	632.48	.00	2164.92
3	4	21	.00	763.22	.00	3088.31
4	21	5	.00	4409.91	.00	29281.28
5	5	6	.00	775.69	.00	7719.53
6	6	7	.00	516.09	.00	5730.46
7	7	22	.00	220.49	.00	2627.83
8	22	8	.00	299.81	.00	3785.57
9	8	23	.00	261.38	.00	3568.69
10	23	3	.00	86.16	.00	1270.86
TOTAL .....			.00	15374.02		68961.52

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	12	1	16.80	477.00	37044.00	.00	-17151370.00
TOTAL					37044.00	.00	-17151370.00

FORCAS APLICADAS

COORD. X	COORD. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
.00	456.77	285.60	.00	.00

ESFORCOS NA ORIGEM

FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
37329.60	-74208.77	-17675230.00

MOMENTO RESISTENTE = 930649.80
 MOMENTO TOMBAMENTO = 429632.40
 F.S. AO TOMBAMENTO = 2.17

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -89582.80
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 15374.02
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 5.83

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	128.76	-186.77	-186.77	128.76
	2	128.76	-213.60	-213.60	128.76
2	2	128.76	-213.60	-213.60	128.76
	4	128.76	-218.28	-218.28	128.76
3	4	128.76	-218.28	-218.28	128.76
	21	128.76	-224.24	-224.24	128.76
4	21	128.76	-224.24	-224.24	128.76
	5	128.76	-266.39	-266.39	128.76
5	5	128.76	-266.39	-266.39	128.76
	6	128.76	-277.03	-277.03	128.76
6	6	128.76	-277.03	-277.03	128.76
	7	128.76	-285.97	-285.97	128.76
7	7	128.76	-285.97	-285.97	128.76
	22	128.76	-290.66	-290.66	128.76
8	22	128.76	-290.66	-290.66	128.76
	8	128.76	-298.32	-298.32	128.76
9	8	128.76	-298.32	-298.32	128.76
	23	128.76	-308.97	-308.97	128.76
10	23	128.76	-308.97	-308.97	128.76
	3	128.76	-319.18	-319.18	128.76

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 2.06

Tabela 25. Resumo dos resultados CCE1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE1	2.17	5.83	2.06	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco de Ligação é estável para a condição excepcional de carregamento 1 (CCE1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.14.4 Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2) foi verificada a hipótese de drenagem 50% inoperante.

A Figura 4 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco de ligação, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

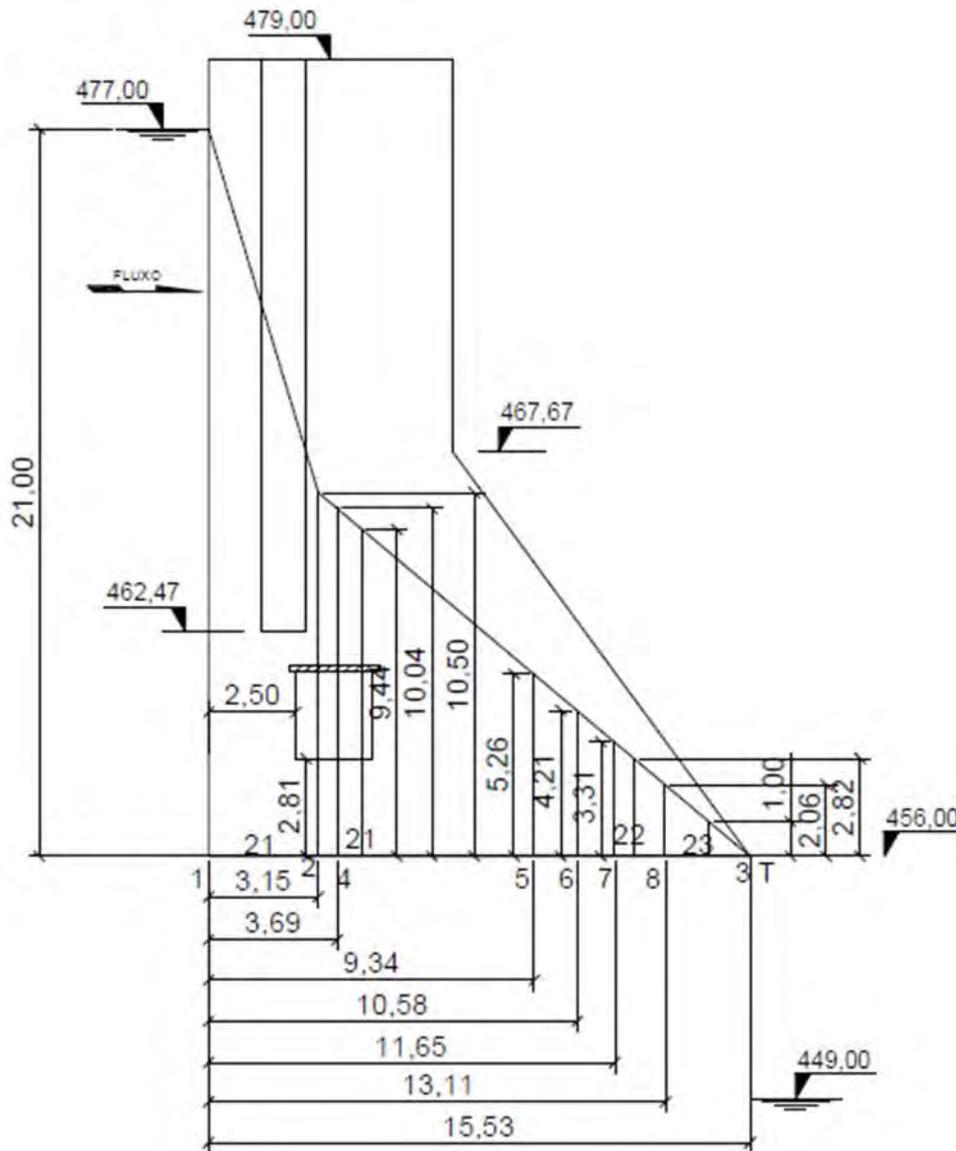


Figura 35 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco de Ligação (CCE2).

CARREGAMENTO - 4 - CCE2 CONDICAO DE CARREG. DRENAGEM 50%
=====

ACELERACAO
=====

MATERIAIS	DIR. X	DIR. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
CONCRETO CCR	.00	-1.00	.0	-89582.8	-462362.7

SUBPRESSAO
=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	210.00
2	2	105.00
3	4	100.40
4	21	94.40
5	5	52.60
6	6	42.10
7	7	33.10
8	22	28.20
9	8	20.60
10	23	10.00
11	3	.01

ESFORCOS DA SUBPRESSAO
=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	8334.90	.00	11668.86
2	2	4	.00	948.95	.00	3248.20
3	4	21	.00	1145.42	.00	4634.85
4	21	5	.00	6621.62	.00	43970.23
5	5	6	.00	1165.99	.00	11603.85
6	6	7	.00	777.76	.00	8636.24
7	7	22	.00	332.09	.00	3957.77
8	22	8	.00	450.18	.00	5684.26
9	8	23	.00	392.06	.00	5352.76
10	23	3	.00	128.53	.00	1895.84
TOTAL .....			.00	20297.50		100652.90

EMPUXO D'AGUA
=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	12	1	16.80	477.00	37044.00	.00	-17151370.00
TOTAL				37044.00	.00		-17151370.00

FORCAS APLICADAS
=====

COORD. X	COORD. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
.00	456.77	285.60	.00	.00

ESFORCOS NA ORIGEM
=====

FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
37329.60	-69285.30	-17643530.00

MOMENTO RESISTENTE = 930649.80
 MOMENTO TOMBAMENTO = 474501.20
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.96

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -89582.80
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 20297.50
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 4.41

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF NO		HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	128.76	-158.25	-158.25	128.76
	2	128.76	-189.54	-189.54	128.76
2	2	128.76	-189.54	-189.54	128.76
	4	128.76	-195.01	-195.01	128.76
3	4	128.76	-195.01	-195.01	128.76
	21	128.76	-201.96	-201.96	128.76
4	21	128.76	-201.96	-201.96	128.76
	5	128.76	-251.14	-251.14	128.76
5	5	128.76	-251.14	-251.14	128.76
	6	128.76	-263.56	-263.56	128.76
6	6	128.76	-263.56	-263.56	128.76
	7	128.76	-274.00	-274.00	128.76
7	7	128.76	-274.00	-274.00	128.76
	22	128.76	-279.46	-279.46	128.76
8	22	128.76	-279.46	-279.46	128.76
	8	128.76	-288.40	-288.40	128.76
9	8	128.76	-288.40	-288.40	128.76
	23	128.76	-300.82	-300.82	128.76
10	23	128.76	-300.82	-300.82	128.76
	3	128.76	-312.75	-312.75	128.76

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.97

Tabela 26. Resumo dos resultados CCE2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE2	1.96	4.41	1.97	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco de Ligação é estável para a condição excepcional de carregamento 2 (CCE2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.14.5 Condição de Carregamento Limite (CCL)

Na situação da condição de Carregamento Limite (CCL) foi verificada a hipótese de drenagem 100% inoperante.

A Figura 4 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do bloco de ligação, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

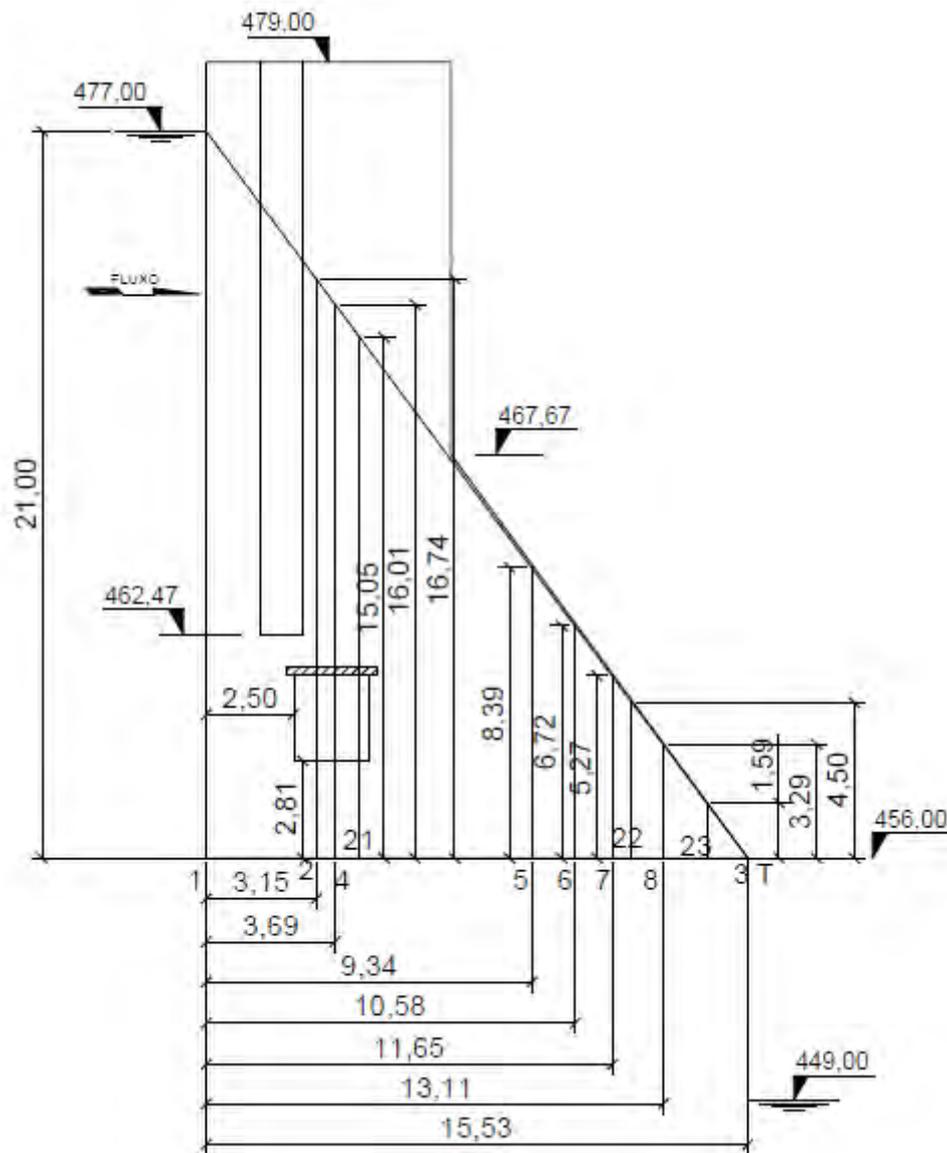


Figura 36 - Diagrama de Supressões na Fundação do Bloco de Ligação (CCL).

CARREGAMENTO - 5 - CCL CONDICAO DE BOMBEAMENTO INOPERANTE

=====

ACELERACAO

=====

MATERIAIS	DIR. X	DIR. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
CONCRETO CCR	.00	-1.00	.0	-89582.8	-462362.7

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	210.00
2	2	167.40
3	4	160.10
4	21	150.50
5	5	83.90
6	6	67.20
7	7	52.70
8	22	45.00
9	8	32.90
10	23	15.90
11	3	.01

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	9986.00	.00	15136.18
2	2	4	.00	1513.05	.00	5179.10
3	4	21	.00	1826.33	.00	7390.04
4	21	5	.00	10558.55	.00	70115.03
5	5	6	.00	1860.42	.00	18514.84
6	6	7	.00	1240.06	.00	13769.48
7	7	22	.00	529.29	.00	6307.96
8	22	8	.00	718.63	.00	9073.90
9	8	23	.00	625.25	.00	8536.18
10	23	3	.00	204.28	.00	3013.25
TOTAL .....			.00	29061.87		157036.00

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	12	1	16.80	477.00	37044.00	.00	-17151370.00
TOTAL				37044.00	.00		-17151370.00

FORCAS APLICADAS

=====

COORD. X	COORD. Y	FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
.00	456.77	285.60	.00	.00

ESFORCOS NA ORIGEM

=====

FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
37329.60	-60520.93	-17587150.00

MOMENTO RESISTENTE = 930649.80
 MOMENTO TOMBAMENTO = 554403.90
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.68

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -89582.80
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 29061.87
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 3.08

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====					
NLF NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL	
1 1	128.76	-107.42	-107.42	128.76	
2	128.76	-146.70	-146.70	128.76	
2 2	128.76	-146.70	-146.70	128.76	
4	128.76	-153.56	-153.56	128.76	
3 4	128.76	-153.56	-153.56	128.76	
21	128.76	-162.29	-162.29	128.76	
4 21	128.76	-162.29	-162.29	128.76	
5	128.76	-224.01	-224.01	128.76	
5 5	128.76	-224.01	-224.01	128.76	
6	128.76	-239.60	-239.60	128.76	
6 6	128.76	-239.60	-239.60	128.76	
7	128.76	-252.69	-252.69	128.76	
7 7	128.76	-252.69	-252.69	128.76	
22	128.76	-259.55	-259.55	128.76	
8 22	128.76	-259.55	-259.55	128.76	
8	128.76	-270.77	-270.77	128.76	
9 8	128.76	-270.77	-270.77	128.76	
23	128.76	-286.36	-286.36	128.76	
10 23	128.76	-286.36	-286.36	128.76	
3	128.76	-301.33	-301.33	128.76	

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.10
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 1.50
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 2.27

Tabela 27. Resumo dos resultados CCL

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCL	1.68	3.08	2.27	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Bloco de Ligação é estável para a condição limite de carregamento (CCL), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.15 VERTEDOURO

A análise foi realizada na estrutura do Vertedouro, sendo esta destacada nas Figura 37, bem como seção de corte apresentada na Figura 38.

Para a análise de estabilidade global do vertedouro foi considerada a geometria tridimensional da estrutura, visto que a seção transversal do bloco não é constante e considerando ainda que existe apenas uma junta de contração situada no meio da calha vertente entre os dois blocos, e deste modo foi possível avaliar a geometria real do vertedouro com um pilar central e uma parede lateral dentro de um único bloco, o qual possui 20,2m de largura.

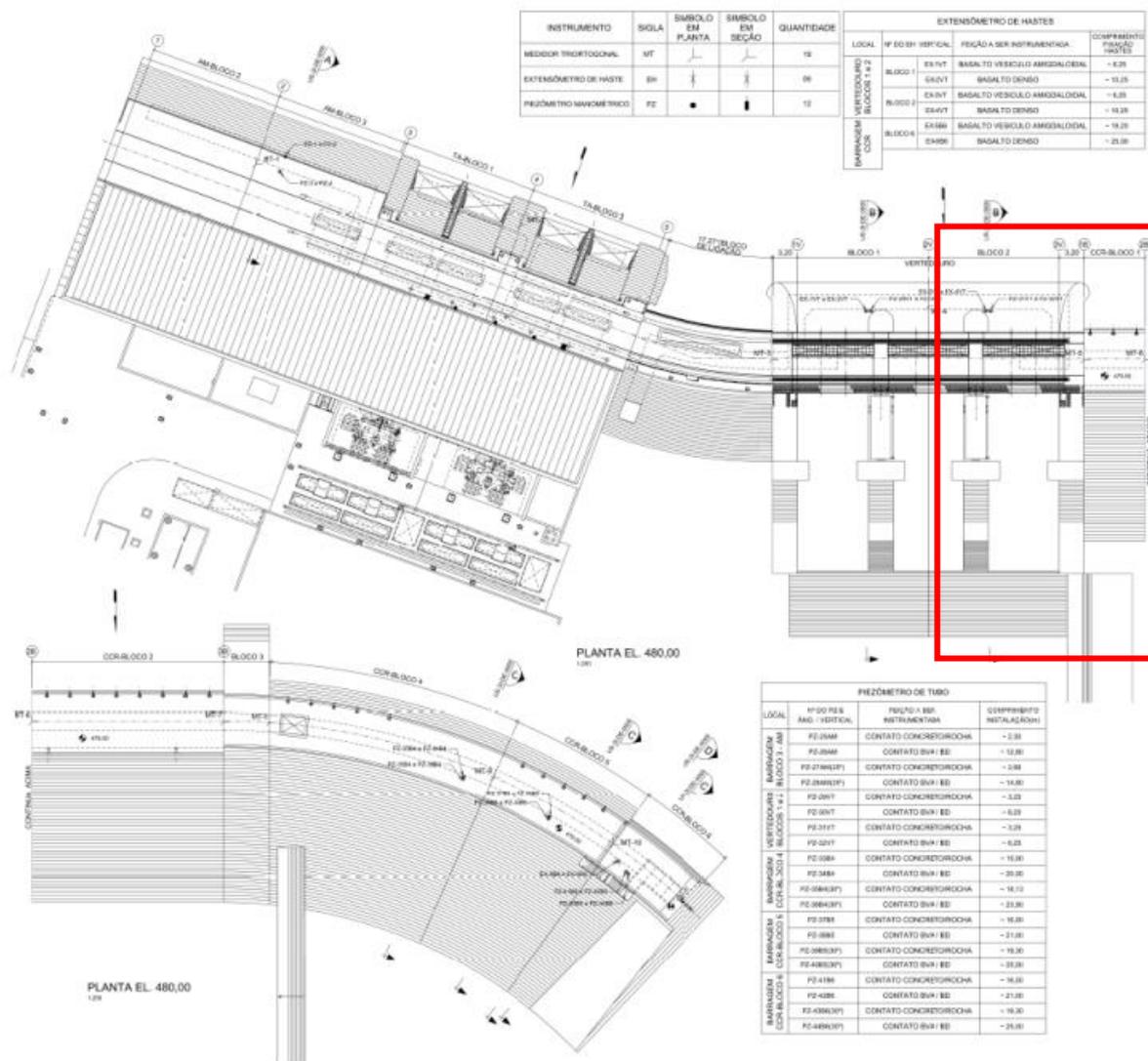


Figura 37 – Planta das estruturas de concreto – Vertedouro.
 Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem de CCR, Vertedouro e Bloco 3 da Área de Montagem – Instrumentação – Plantas (1027/US-3I-DE-0004).

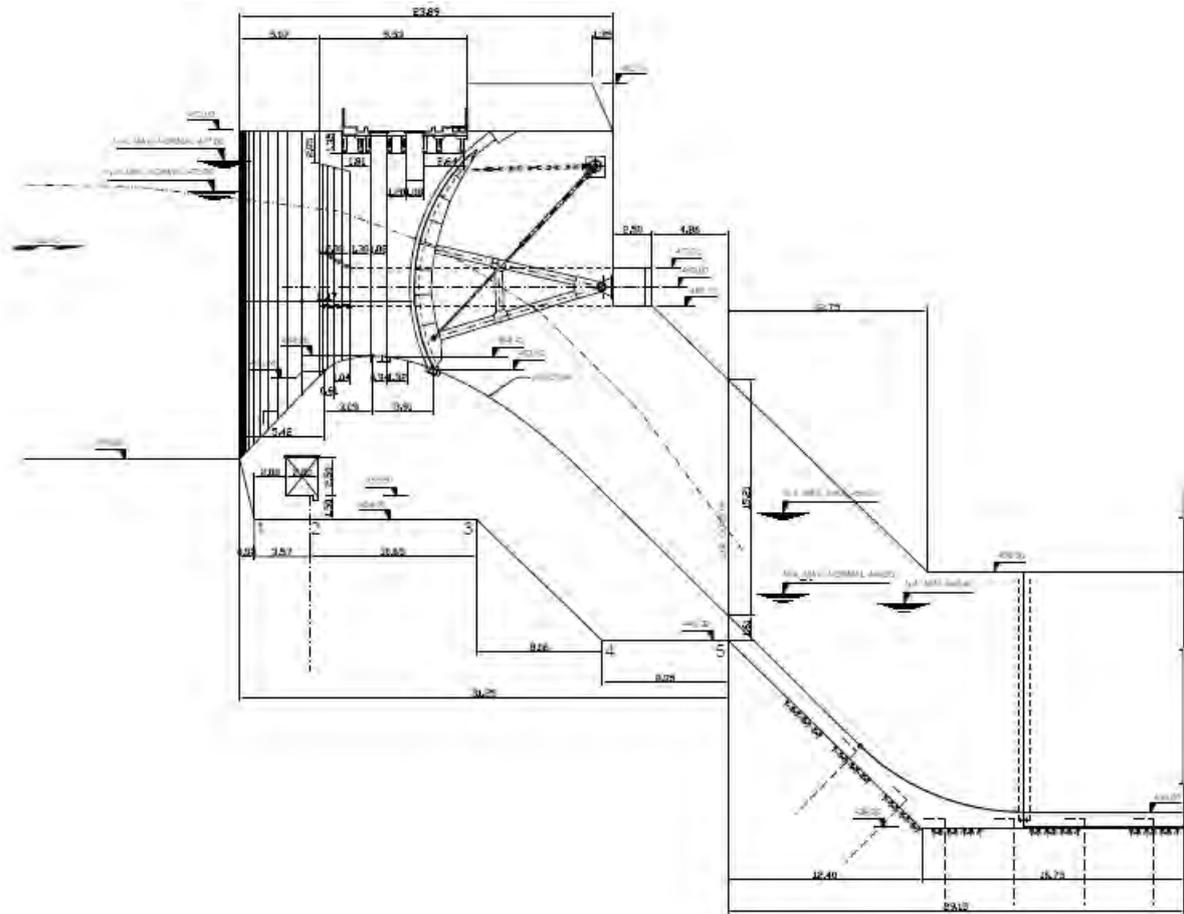


Figura 38 – Seção na estrutura de concreto - Vertedouro.

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Barragem CCR, Vertedouro e Bloco 3 da Área de Montagem – Instrumentação – Seções (1027/US-3I-DE-0005).

PONTO DE TOMBAMENTO: X = 31.25
Y = 446.10

MATERIAIS

=====

NMT	P.ESPEC.	MATERIAL
1	25.00	CONCRETO ARMADO
2	24.00	CONCRETO MASSA
3	10.00	AGUA(MONTANTE)
4	10.00	AGUA(JUSANTE)

VOLUMES

=====

NMT	MATERIAL	XCG	YCG	VOLUME
1	CONCRETO ARMADO	16.81	467.80	3214.02
2	CONCRETO MASSA	15.05	455.75	4989.07
3	AGUA(MONTANTE)	5.54	469.84	2901.81
4	AGUA(JUSANTE)	29.10	452.10	293.73

FUNDACAO

=====

NLF	N1	N2	ESPESSURA	COMP	FI	COESAO
1	1	2	20.20	4.08	40.00	200.00
2	2	3	20.20	10.15	40.00	200.00
3	3	4	20.20	11.28	40.00	200.00
4	4	5	20.20	8.05	40.00	200.00

4.15.1 Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)

Nesta condição de carregamento as forças atuantes na estrutura têm grande probabilidade de ocorrência simultânea e a condição hidrológica é a considerada Normal, sendo esta, caracterizada pelos níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 39 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do vertedouro, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

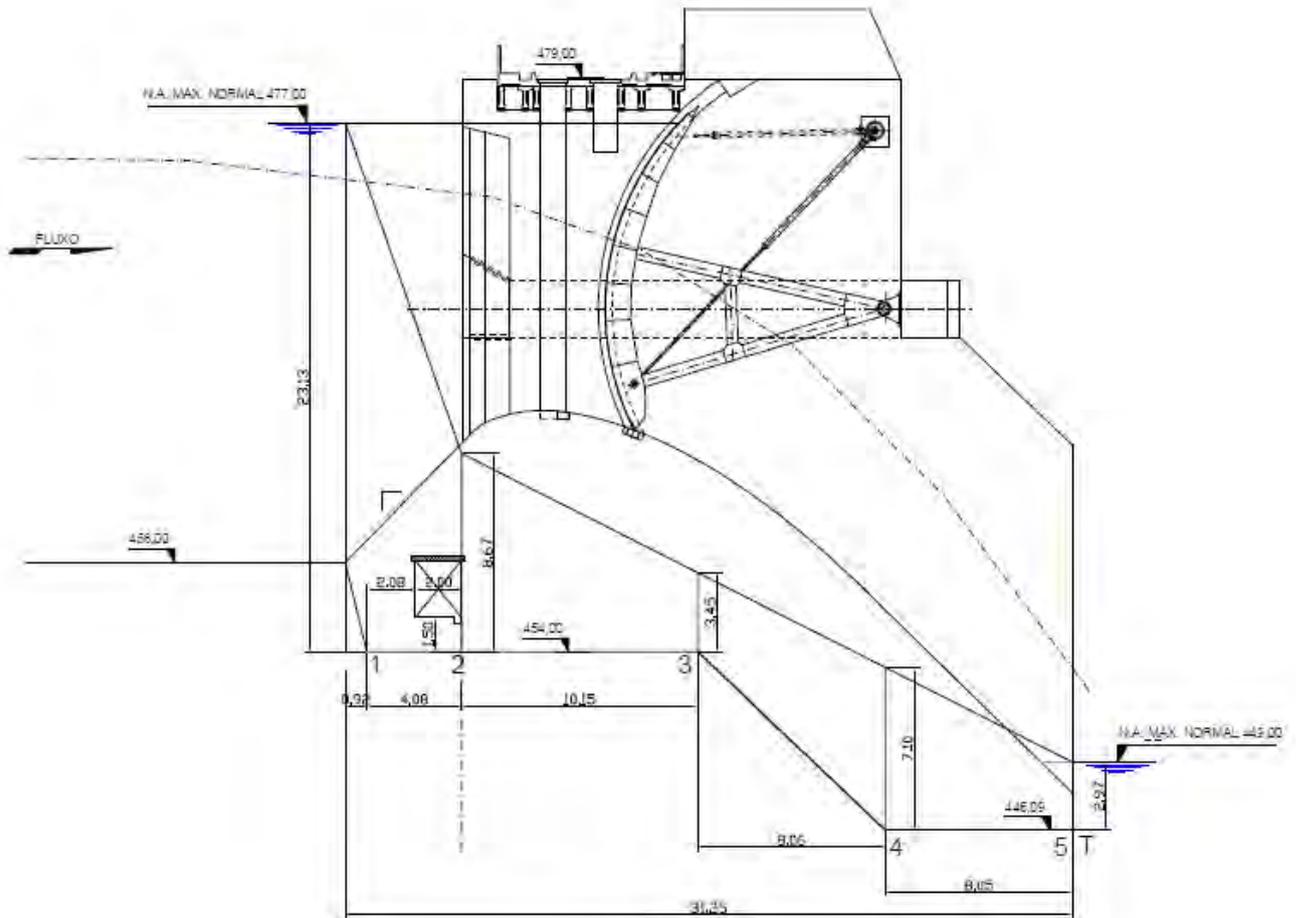


Figura 39 - Diagrama de Subpressões na Fundação do Vertedouro (CCN1).

CARREGAMENTO - 1 - CCN1 CASO DE CARREGAMENTO NORMAL-1

=====

SUBPRESSAO		
=====		
NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	231.30
2	2	86.70
3	3	34.50
4	4	71.00
5	5	29.70

ESFORÇOS DA SUBPRESSAO

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	13104.14	.00	34736.37
2	2	3	.00	12424.82	.00	116127.40
3	3	4	8417.84	8577.68	-3784614.00	168458.60
4	4	5	.00	8187.41	.00	218397.10
TOTAL			8417.84	42294.05		-3246894.00

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	42	22	20.20	477.00	36461.00	.00	-16930060.00
2	22	1	20.20	477.00	16968.00	3902.64	-7734479.00
3	5	38	20.20	449.00	-849.41	.00	379741.30
TOTAL				52579.60	3902.64		-24284800.00

MOMEMTO RESISTENTE = 3846738.00
 MOMENTO TOMBAMENTO = 1765202.00
 F.S. AO TOMBAMENTO = 2.18

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -229106.30
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 46196.70
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 4.96

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	110.37	-171.99	-171.99	110.37
	2	110.37	-197.81	-197.81	110.37
2	2	110.37	-197.81	-197.81	110.37
	3	110.37	-262.03	-262.03	110.37
3	3	110.37	-262.03	-109.71	262.30
	4	60.39	-312.96	-181.07	262.30
4	4	60.39	-312.96	-312.96	60.39
	5	60.39	-363.89	-363.89	60.39

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.96

Tabela 28. Resumo dos resultados CCN1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	2.18	4.96	1.96	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão

admissível, conclui-se que o Vertedouro é estável para a condição normal de carregamento 1 (CCN1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.15.2 Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)

Nesta condição de carregamento (CCN2 – Subpressão da Piezometria) foram considerados os níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 40 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do vertedouro, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

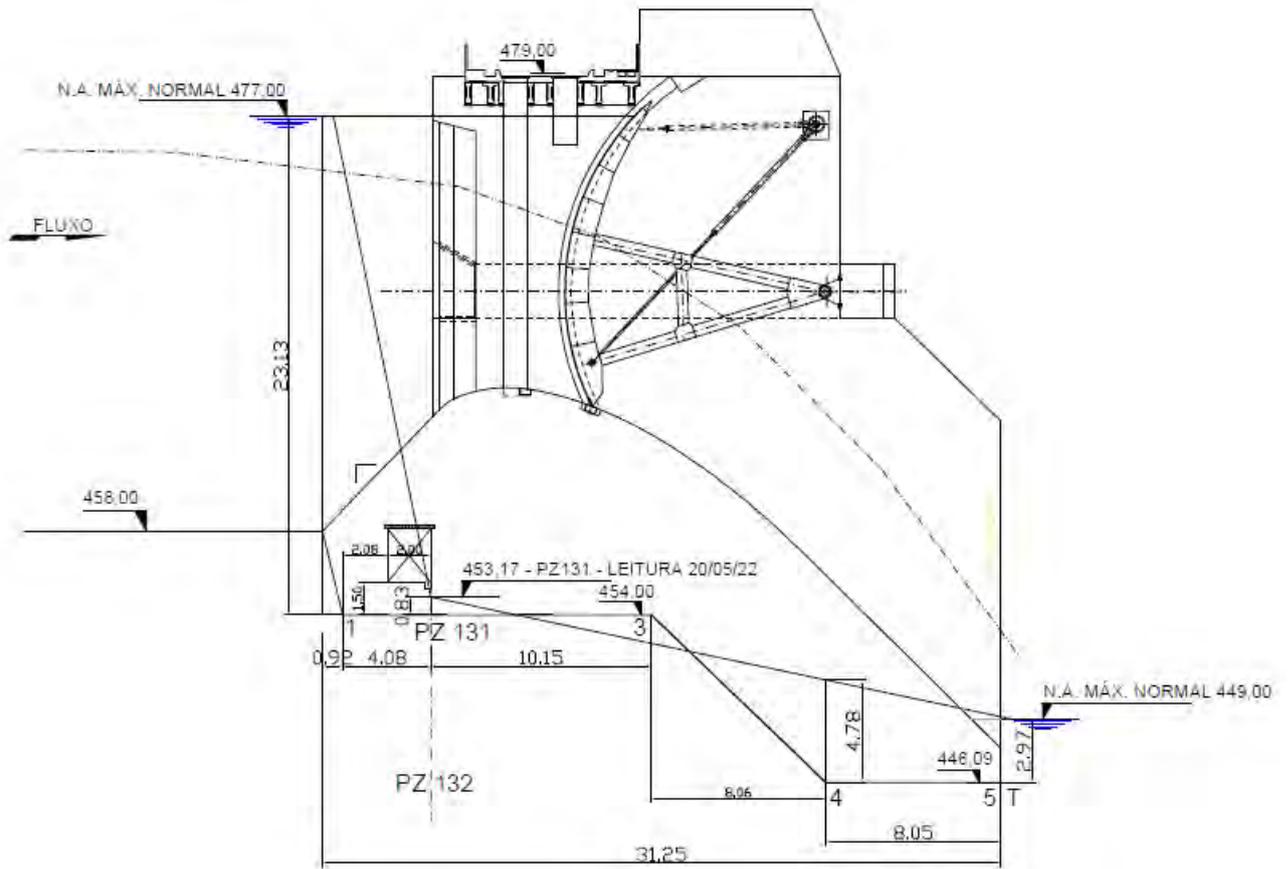


Figura 40 - Diagrama de Subpressões na Fundação do Vertedouro (CCN2).

CARREGAMENTO - 2 - CCN2 CASO DE CARREGAMENTO NORMAL-2
 =====

SUBPRESSAO
 =====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	231.30
2	2	8.30
3	3	.01
4	4	47.80
5	5	29.70

ESFORÇOS DA SUBPRESSAO
 =====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	9861.08	.00	22931.59
2	2	3	.00	821.15	.00	6887.40
3	3	4	3806.78	3879.06	-1708231.00	79583.25
4	4	5	.00	6293.01	.00	169363.60
TOTAL			3806.78	20854.29		-1429465.00

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	42	22	20.20	477.00	36461.00	.00	-16930060.00
2	22	1	20.20	477.00	16968.00	3902.64	-7734479.00
3	5	38	20.20	449.00	-849.41	.00	379741.30
TOTAL				52579.60	3902.64		-24284800.00

MOMENTO RESISTENTE = 3846738.00
 MOMENTO TOMBAMENTO = 1334774.00
 F.S. AO TOMBAMENTO = 2.88

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -229106.30
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 24756.93
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 9.23

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	98.36	-228.62	-228.62	98.36
	2	98.36	-247.84	-247.84	98.36
2	2	98.36	-247.84	-247.84	98.36
	3	98.36	-295.65	-295.65	98.36
3	3	98.36	-295.65	-142.12	277.28
	4	61.15	-333.56	-195.24	277.28
4	4	61.15	-333.56	-333.56	61.15
	5	61.15	-371.48	-371.48	61.15

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 2.31

Tabela 29. Resumo dos resultados CCN2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN2	2.88	9.23	2.31	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Vertedouro é estável para a condição normal de carregamento 2 (CCN2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.15.3 Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1) foi verificada a estabilidade para os níveis máximos de enchente.

A Figura 41 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do vertedouro, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

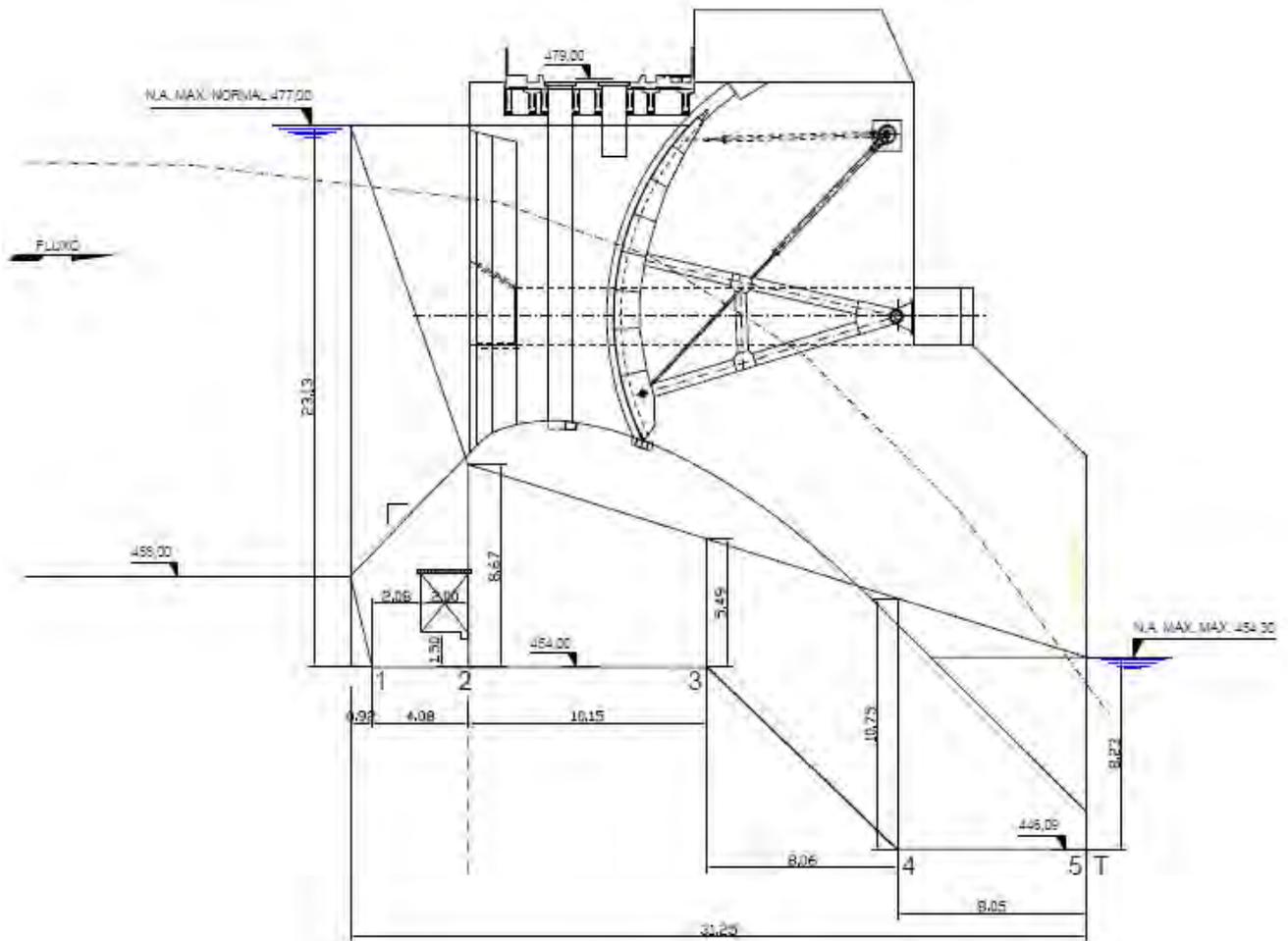


Figura 41 - Diagrama de Supressões na Fundação do Vertedouro (CCE1).

CARREGAMENTO - 3 - CCE1 CASO EXCEPCIONAL DE ENCHENTE

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	231.30
2	2	86.70
3	3	54.90
4	4	107.50
5	5	82.30

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	13104.14	.00	34736.37
2	2	3	.00	14516.12	.00	140735.20
3	3	4	12957.89	13203.93	-5826171.00	258923.30
4	4	5	.00	15431.69	.00	417378.80
TOTAL			12957.89	56255.89		-4974397.00

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	42	22	20.20	477.00	36461.00	.00	-16930060.00
2	22	1	20.20	477.00	16968.00	3902.64	-7734479.00
3	5	38	20.20	454.30	-6791.21	.00	3048122.00
TOTAL				46637.79	3902.64		-21616420.00

MOMENTO RESISTENTE = 3870794.00
 MOMENTO TOMBAMENTO = 1903697.00
 F.S. AO TOMBAMENTO = 2.03

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -232043.60
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 60158.53
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 3.86

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	105.82	-167.64	-167.64	105.82
	2	105.82	-190.31	-190.31	105.82
2	2	105.82	-190.31	-190.31	105.82
	3	105.82	-246.71	-246.71	105.82
3	3	105.82	-246.71	-101.96	248.33
	4	61.92	-291.44	-164.64	248.33
4	4	61.92	-291.44	-291.44	61.92
	5	61.92	-336.18	-336.18	61.92

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 2.46

Tabela 30. Resumo dos resultados CCE1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE1	2.03	3.86	2.46	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Vertedouro é estável para a condição excepcional de carregamento 1 (CCE1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.15.4 Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2) foi verificada a hipótese de drenagem 50% inoperante.

A Figura 42 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do vertedouro, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

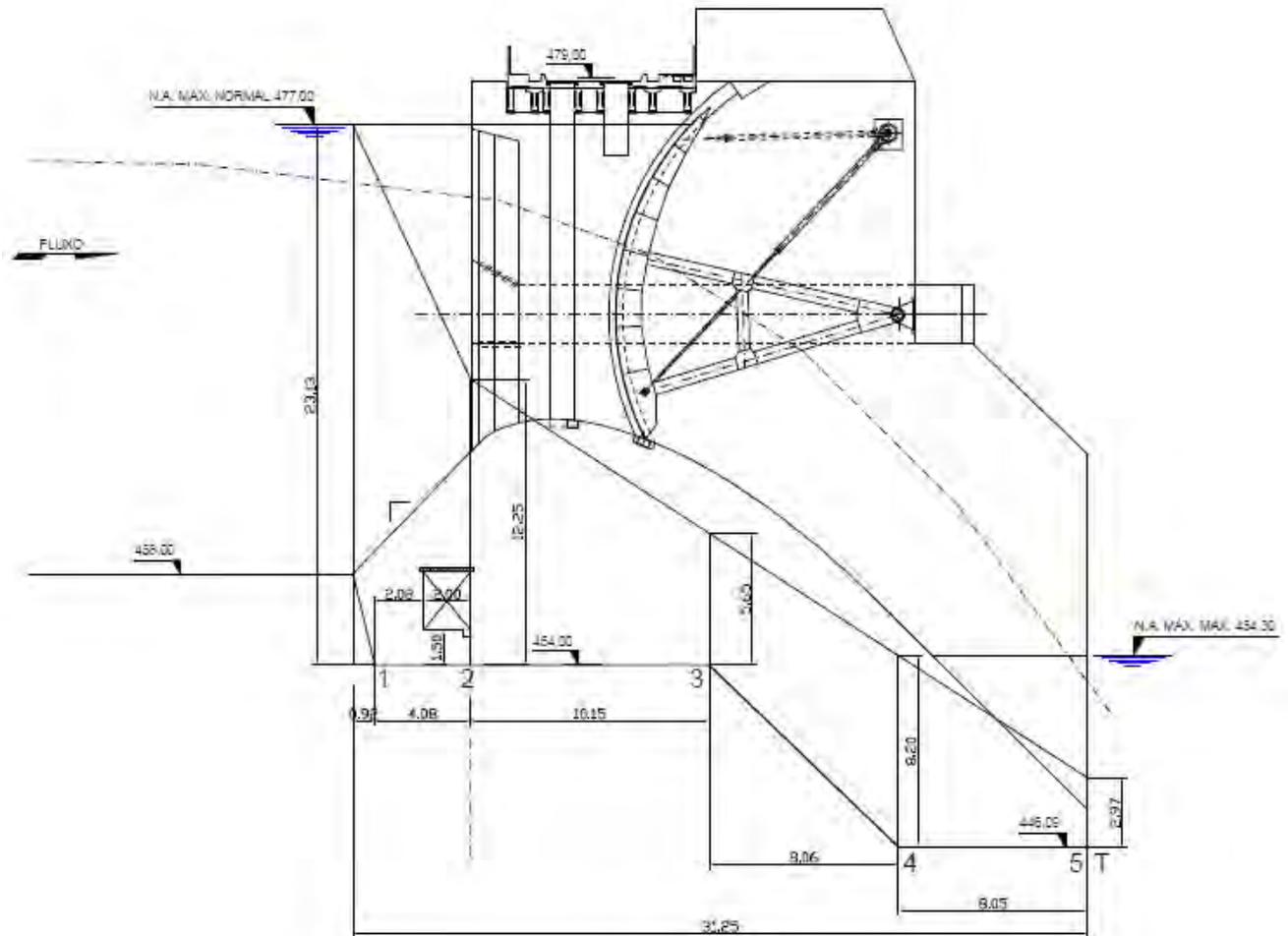


Figura 42 - Diagrama de Subpressões na Fundação do Vertedouro (CCE2).

CARREGAMENTO - 4 - CCE2 CASO EXCEPCIONAL DE DRENAGEM 50%

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	231.30
2	2	122.50
3	3	56.50
4	4	82.00
5	5	29.70

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

```

=====
NLF N1 N2 FORCA X FORCA Y FX * Y FY * X
1 1 2 .00 14579.39 .00 40106.26
2 2 3 .00 18350.18 .00 173432.30
3 3 4 11050.91 11260.75 -4970782.00 218706.40
4 4 5 .00 9081.77 .00 241546.00
TOTAL ..... 11050.91 53272.09 -4296991.00

```

EMPUXO D'AGUA

```

=====
NLE N1 N2 ESP N.AGUA ESFORCOS NA ORIGEM
FORCA X FORCA Y MOMENTO
1 42 22 20.20 477.00 36461.00 .00 -16930060.00
2 22 1 20.20 477.00 16968.00 3902.64 -7734479.00
3 5 38 20.20 449.00 -849.41 .00 379741.30
TOTAL ..... 52579.60 3902.64 -24284800.00

```

MOMENTO RESISTENTE = 3846738.00
MOMENTO TOMBAMENTO = 1983750.00
F.S. AO TOMBAMENTO = 1.94

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -229106.30
RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 57174.73
FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 4.01

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

```

=====
NLF NO HORIZONTAL VERTICAL NORMAL TANGENCIAL
1 1 116.74 -143.86 -143.86 116.74
2 116.74 -172.83 -172.83 116.74
2 2 116.74 -172.83 -172.83 116.74
3 116.74 -244.88 -244.88 116.74
3 3 116.74 -244.88 -93.01 254.84
4 60.66 -302.03 -173.07 254.84
4 4 60.66 -302.03 -302.03 60.66
5 60.66 -359.17 -359.17 60.66

```

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 2.29

Tabela 31. Resumo dos resultados CCE2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE2	1.94	4.01	2.29	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Vertedouro é estável para a condição excepcional de carregamento 2 (CCE2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.15.5 Condição de Carregamento Limite (CCL)

Na situação da condição de Carregamento Limite (CCL) foi verificada a hipótese de drenagem 100% inoperante.

A Figura 43 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação do vertedouro, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

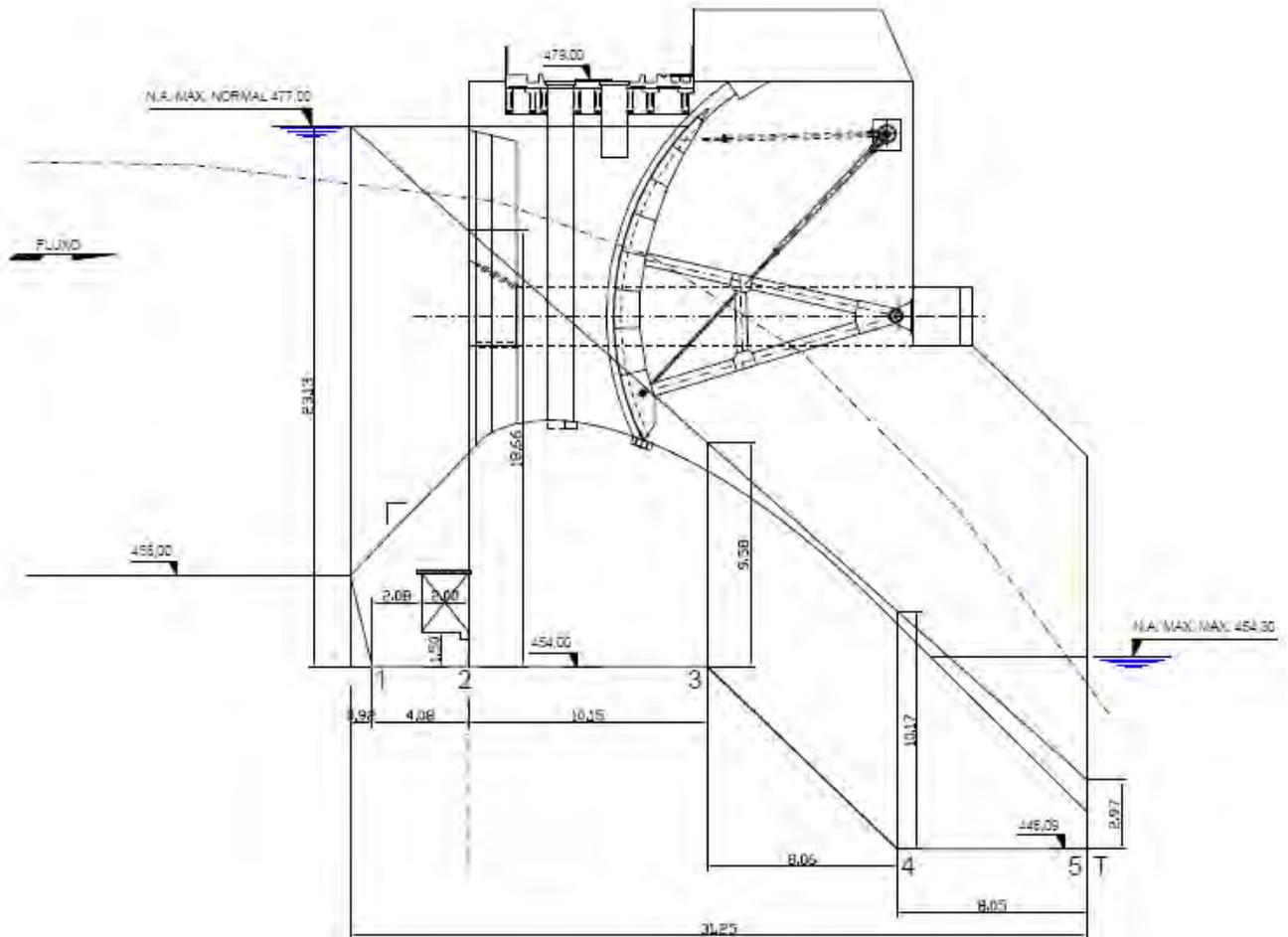


Figura 43 - Diagrama de Supressões na Fundação do Vertedouro (CCL).

CARREGAMENTO - 5 - CCL CASO LIMITE DE BOMBEAM. INOPERANTE

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	231.30
2	2	186.60
3	3	95.80
4	4	101.70
5	5	29.70

ESFORÇOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	17220.82	.00	49721.08
2	2	3	.00	28950.24	.00	275927.00
3	3	4	15758.51	16057.74	-7091500.00	308550.80
4	4	5	.00	10683.48	.00	283003.60
TOTAL			15758.51	72912.28		-6174297.00

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	42	22	20.20	477.00	36461.00	.00	-16930060.00
2	22	1	20.20	477.00	16968.00	3902.64	-7734479.00
3	5	38	20.20	449.00	-849.41	.00	379741.30
TOTAL				52579.60	3902.64		-24284800.00

MOMENTO RESISTENTE = 3846738.00
 MOMENTO TOMBAMENTO = 2374749.00
 F.S. AO TOMBAMENTO = 1.62

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -229106.30
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 76814.92
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 2.98

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	128.14	-93.54	-93.54	128.14
	2	128.14	-128.13	-128.13	128.14
2	2	128.14	-128.13	-128.13	128.14
	3	128.14	-214.21	-214.21	128.14
3	3	128.14	-214.21	-63.13	241.49
	4	61.15	-282.47	-158.78	241.49
4	4	61.15	-282.47	-282.47	61.15
	5	61.15	-350.73	-350.73	61.15

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.10
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 1.50
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 2.47

Tabela 32. Resumo dos resultados CCL

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCL	1.62	2.98	2.47	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que o Vertedouro é estável para a condição limite de carregamento (CCL), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

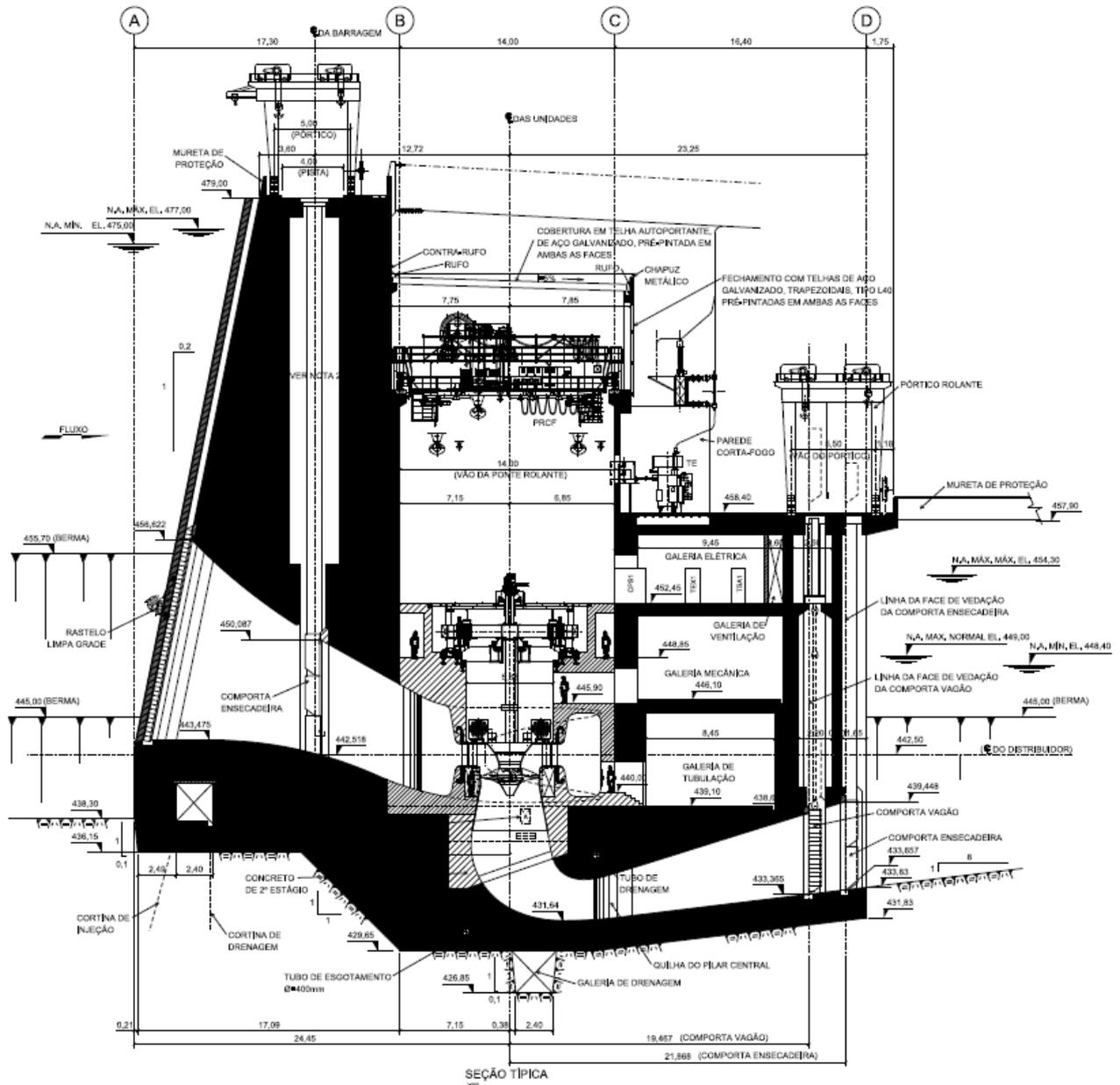


Figura 45 – Estrutura da Tomada D’Água (TA) e Casa de Força (CF).

Fonte: Projeto Executivo – UHE Caçu – Tomada D’Água – Casa de Força – Arranjo – Seção Típica (1027CF-30-DE-0001).

A análise de estabilidade global da Casa de Força levou em consideração a sua geometria tridimensional com 17,6m de largura, de formas a modelar de forma real o volume de sua estrutura, bem como o volume de todo o circuito hidráulico de geração.

Foram utilizadas para redução de subpressões as duas galerias de drenagem, conforme seção acima, sendo uma abaixo da seção Tomada D’água e outra, chamada de espaço confinado, abaixo do tubo de sucção da Casa de Força. As subpressões nestas galerias de drenagem foram reduzidas conforme critérios de projeto da Eletrobrás e adicionalmente foram consideradas eficiências de 50% de drenagem no caso de carregamento excepcional-2

(CCE2), e 0% de eficiência, ou seja, drenagem totalmente inoperante, no caso de carregamento limite (CCL), conforme critérios de cálculo apresentados neste documento.

Apenas para o caso específico da Tomada D'água / Casa de Força foi avaliado adicionalmente um caso de carregamento de manutenção (CCM), o qual considera o circuito de geração esgotado para manutenção temporária. Para este caso considerou-se os fatores de segurança como sendo os de um caso normal de carregamento.

PONTO DE TOMBAMENTO: X = 47.70
Y = 431.83

VOLUMES

=====

NMT	MATERIAL	XCG	YCG	VOLUME
1	CONCRETO	21.04	448.13	15433.09
2	AGUA (CASO NORMAL)	14.58	453.24	7083.36
3	AGUA (CASO ENCHENTE)	15.61	453.20	7328.05

FUNDACAO

=====

NLF	N1	N2	ESPESSURA	COMP	FI	COESAO
1	1	2	17.60	4.50	40.00	200.00
2	2	3	17.60	6.10	40.00	200.00
3	3	4	17.60	9.19	40.00	200.00
4	4	5	17.60	9.45	40.00	200.00
5	5	6	17.60	3.45	40.00	200.00
6	6	7	17.60	17.64	40.00	200.00

4.16.1 Condição de Carregamento Normal 1 (CCN1)

Nesta condição de carregamento as forças atuantes na estrutura têm grande probabilidade de ocorrência simultânea e a condição hidrológica é a considerada Normal, sendo esta, caracterizada pelos níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 46 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação da Casa de Força, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

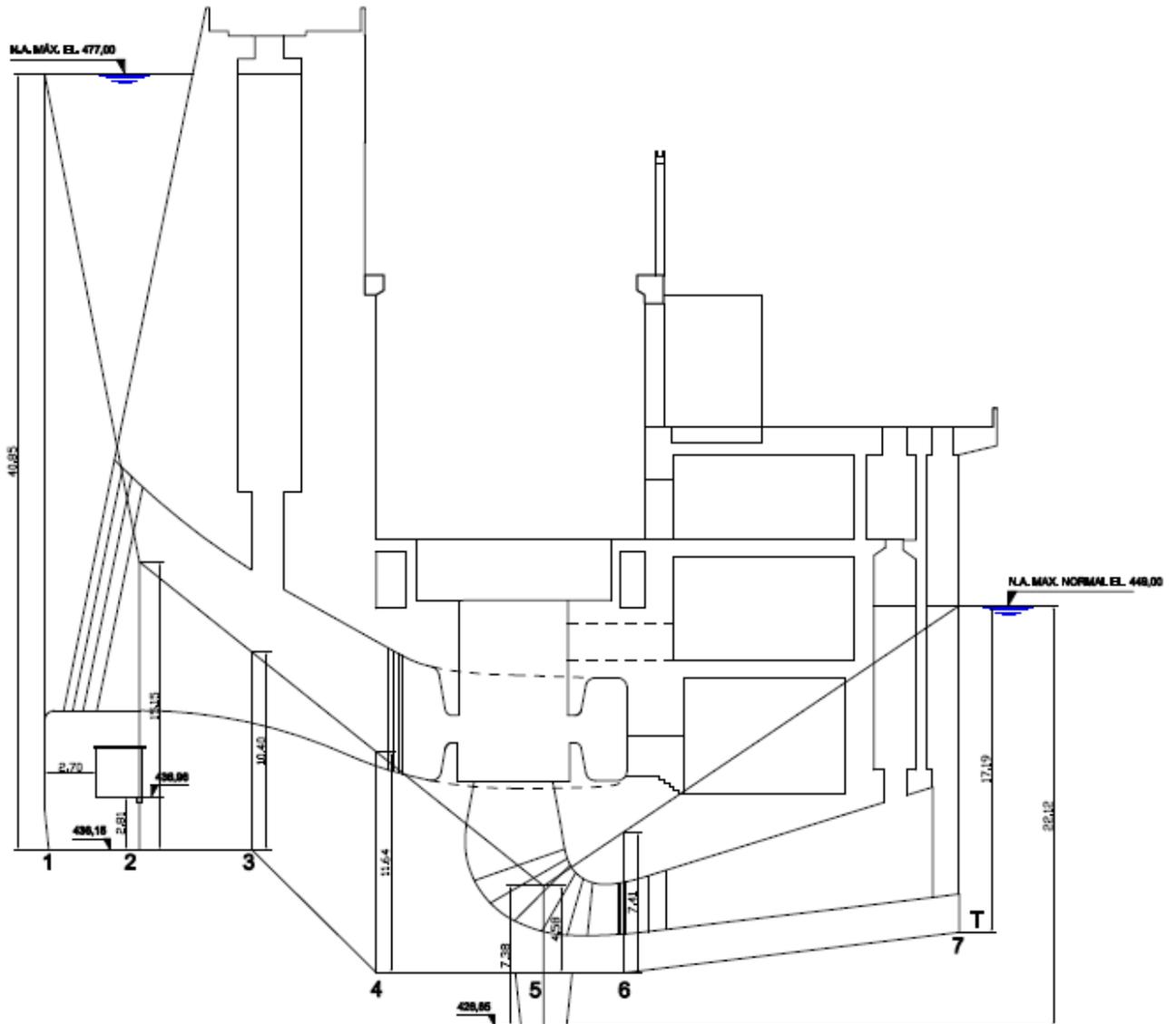


Figura 46 - Diagrama de Subpressões na Fundação da Casa de Força (CCN1).

CARREGAMENTO - 1 - CCN1 CASO DE CARREGAMENTO NORMAL-1

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	408.50
2	2	151.50
3	3	104.00
4	4	116.40
5	5	45.80
6	6	74.10
7	7	171.90

ESFORÇOS DA SUBPRESSÃO

NLF	N1	N2	FORÇA X	FORÇA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	22176.00	.00	46698.30
2	2	3	.00	13715.24	.00	103700.80
3	3	4	12606.88	12606.88	-5456750.00	177895.00
4	4	5	.00	13488.55	.00	287838.40
5	5	6	.00	3640.16	.00	104147.70
6	6	7	-4719.25	37884.00	2033451.00	1519510.00
TOTAL			7887.63	103510.80		-1183509.00

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORÇOS NA ORIGEM		
				FORÇA X	FORÇA Y	MOMENTO	
1	190	32	17.60	477.00	131796.80	.00	-59466710.00
2	32	1	17.60	477.00	15050.82	1400.08	-6580308.00
3	7	9	17.60	449.00	-25943.22	.00	11351540.00
TOTAL				120904.40	1400.08		-54695480.00

MOMENTO RESISTENTE = 12780290.00
 MOMENTO TOMBAMENTO = 5415461.00
 F.S. AO TOMBAMENTO = 2.36

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -456660.90
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 104910.90
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUAÇÃO = 4.35

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	173.58	-239.41	-239.41	173.58
	2	173.58	-269.92	-269.92	173.58
2	2	173.58	-269.92	-269.92	173.58
	3	173.58	-311.27	-311.27	173.58
3	3	173.58	-311.27	-97.37	342.84
	4	129.51	-355.34	-159.69	342.84
4	4	129.51	-355.34	-355.34	129.51
	5	129.51	-419.42	-419.42	129.51
5	5	129.51	-419.42	-419.42	129.51
	6	129.51	-442.81	-442.81	129.51
6	6	129.51	-442.81	-455.42	73.77
	7	144.29	-561.46	-574.99	73.77

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.80

Tabela 33. Resumo dos resultados CCN1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	2.36	4.35	1.80	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que a Casa de Força é estável para a condição normal de carregamento 1 (CCN1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.16.2 Condição de Carregamento Normal 2 (CCN2)

Nesta condição de carregamento (CCN2 – Subpressão da Piezometria) foram considerados os níveis de operação normal de montante e jusante da usina.

A Figura 47 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação da Casa de Força, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

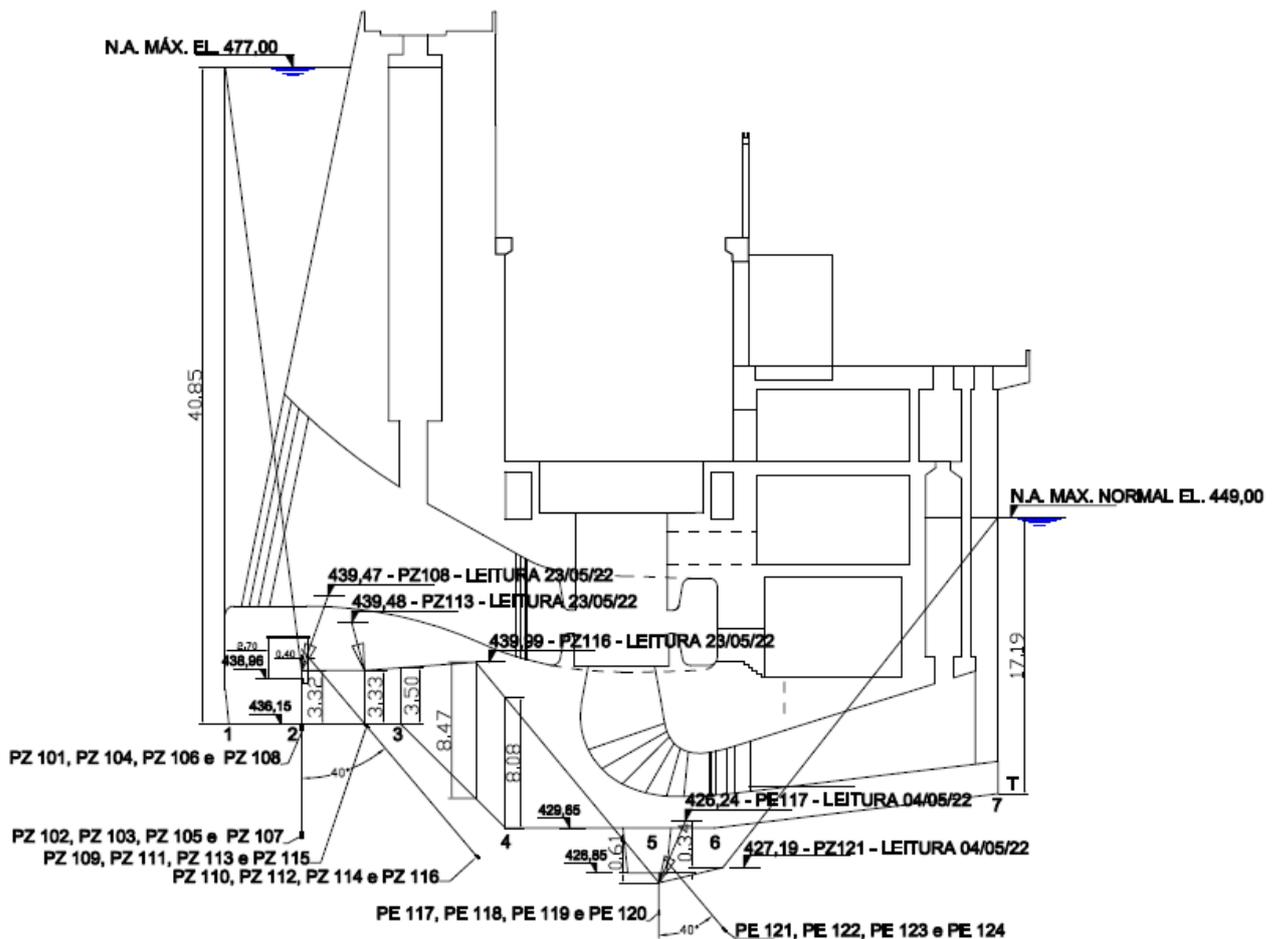


Figura 47 - Diagrama de Subpressões na Fundação da Casa de Força (CCN2).

CARREGAMENTO - 2 - CCN2 CASO DE CARREGAMENTO NORMAL-2

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	408.50
2	2	33.20
3	201	33.30
4	3	35.00
5	202	84.70
6	4	80.80
7	203	.01
8	6	.01
9	204	.01
10	7	171.90

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	17491.32	.00	31707.32
2	2	201	.00	2282.28	.00	15179.39
3	201	3	.00	1322.29	.00	12838.26
4	3	202	4898.12	4898.12	-2123350.00	65864.01
5	202	4	2694.35	2694.34	-1160139.00	44100.23
6	4	203	.00	4729.00	.00	92295.66
7	203	6	.00	1.10	.00	29.78
8	6	204	-.07	.56	30.26	17.79
9	204	7	-2692.80	21663.41	1161232.00	929932.00

TOTAL 4899.60 55082.43 -930261.60

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	190	32	17.60	477.00	131796.80	.00	-59466710.00
2	32	1	17.60	477.00	15050.82	1400.08	-6580308.00
3	7	9	17.60	449.00	-25943.22	.00	11351540.00

TOTAL 120904.40 1400.08 -54695480.00

MOMEMTO RESISTENTE = 12026100.00
 MOMENTO TOMBAMENTO = 4145862.00
 F.S. AO TOMBAMENTO = 2.90

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -427715.80
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 56482.51
 FATOR SEGURANEA · FLUTUACAO = 7.57

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	169.14	-267.31	-267.31	169.14
	2	169.14	-296.68	-296.68	169.14
2	2	169.14	-296.68	-296.68	169.14
	201	169.14	-322.13	-322.13	169.14
3	201	169.14	-322.13	-322.13	169.14
	3	169.14	-336.48	-336.48	169.14
4	3	169.14	-336.48	-118.33	357.53
	202	138.80	-366.83	-161.25	357.53
5	202	138.80	-366.83	-161.24	357.53
	4	126.72	-378.90	-178.32	357.53
6	4	126.72	-378.90	-378.90	126.72
	203	126.72	-422.30	-422.30	126.72
7	203	126.72	-422.30	-422.30	126.72
	6	126.72	-463.09	-463.09	126.72
8	6	126.72	-463.09	-475.29	67.94
	204	129.33	-483.85	-496.20	67.94
9	204	129.33	-483.85	-496.10	68.66
	7	140.95	-577.30	-590.28	68.66

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
 F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.92

Tabela 34. Resumo dos resultados CCN2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN2	2.90	7.57	1.92	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que a Casa de Força é estável para a condição normal de carregamento 2 (CCN2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.16.3 Condição de Carregamento de Manutenção (CCM)

Nesta condição de carregamento as forças atuantes na estrutura têm grande probabilidade de ocorrência simultânea e a condição hidrológica é a considerada Normal, sendo esta, caracterizada pelos níveis de operação normal de montante e jusante, e a usina com todo o circuito hidráulico de geração esgotado entre a comporta de montante na Tomada D'água e a da jusante no tubo de sucção.

A Figura 48 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação da Casa de Força, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

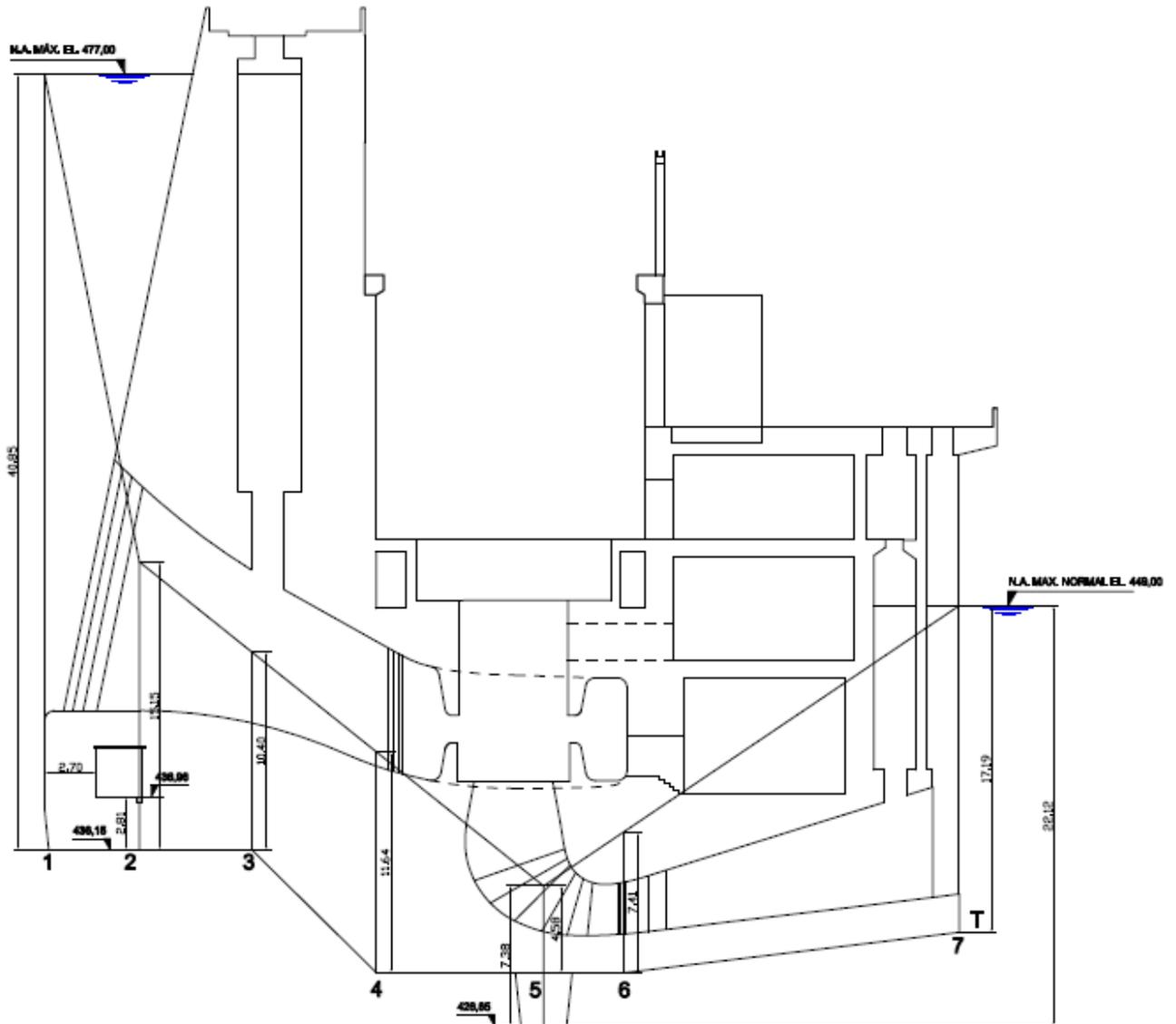


Figura 48 - Diagrama de Subpressões na Fundação da Casa de Força (CCM).

CARREGAMENTO - 3 - CCN3 CASO DE CARREGAMENTO DE MANUTENÇÃO

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	408.50
2	2	151.50
3	3	104.00
4	4	116.40
5	5	45.80
6	6	74.10
7	7	171.90

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	22176.00	.00	46698.30
2	2	3	.00	13715.24	.00	103700.80
3	3	4	12606.88	12606.88	-5456750.00	177895.00
4	4	5	.00	13488.55	.00	287838.40
5	5	6	.00	3640.16	.00	104147.70
6	6	7	-4719.25	37884.00	2033451.00	1519510.00
TOTAL			7887.63	103510.80		-1183509.00

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	FORCA X	FORCA Y	ESFORCOS NA ORIGEM	MOMENTO
1	190	32	17.60	477.00	131796.80	.00		-59466710.00
2	32	1	17.60	477.00	15050.82	1400.08		-6580308.00
3	7	9	17.60	449.00	-25943.22	.00		11351540.00
TOTAL					120904.40	1400.08		-54695480.00

MOMEMTO RESISTENTE = 12022740.00
 MOMENTO TOMBAMENTO = 5415461.00
 F.S. AO TOMBAMENTO = 2.22

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -427715.80
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 104910.90
 FATOR SEGURANEA · FLUTUACAO = 4.08

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	174.96	-198.99	-198.99	174.96
	2	174.96	-231.00	-231.00	174.96
2	2	174.96	-231.00	-231.00	174.96
	3	174.96	-274.38	-274.38	174.96
3	3	174.96	-274.38	-70.31	317.73
	4	128.73	-320.62	-135.69	317.73
4	4	128.73	-320.62	-320.62	128.73
	5	128.73	-387.83	-387.83	128.73
5	5	128.73	-387.83	-387.83	128.73
	6	128.73	-412.37	-412.37	128.73
6	6	128.73	-412.37	-425.12	76.76
	7	144.23	-536.84	-550.55	76.76

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.50
 FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 3.00
 F. SEGURANEA ESCORREGAMENTO = 1.69

Tabela 35. Resumo dos resultados CCN1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	2.22	4.08	1.69	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que a Casa de Força é estável para a condição normal de carregamento de manutenção da casa de força (CCM), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.16.4 Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1) foi verificada a estabilidade para os níveis máximos de enchente.

A Figura 49 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação da Casa de Força, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

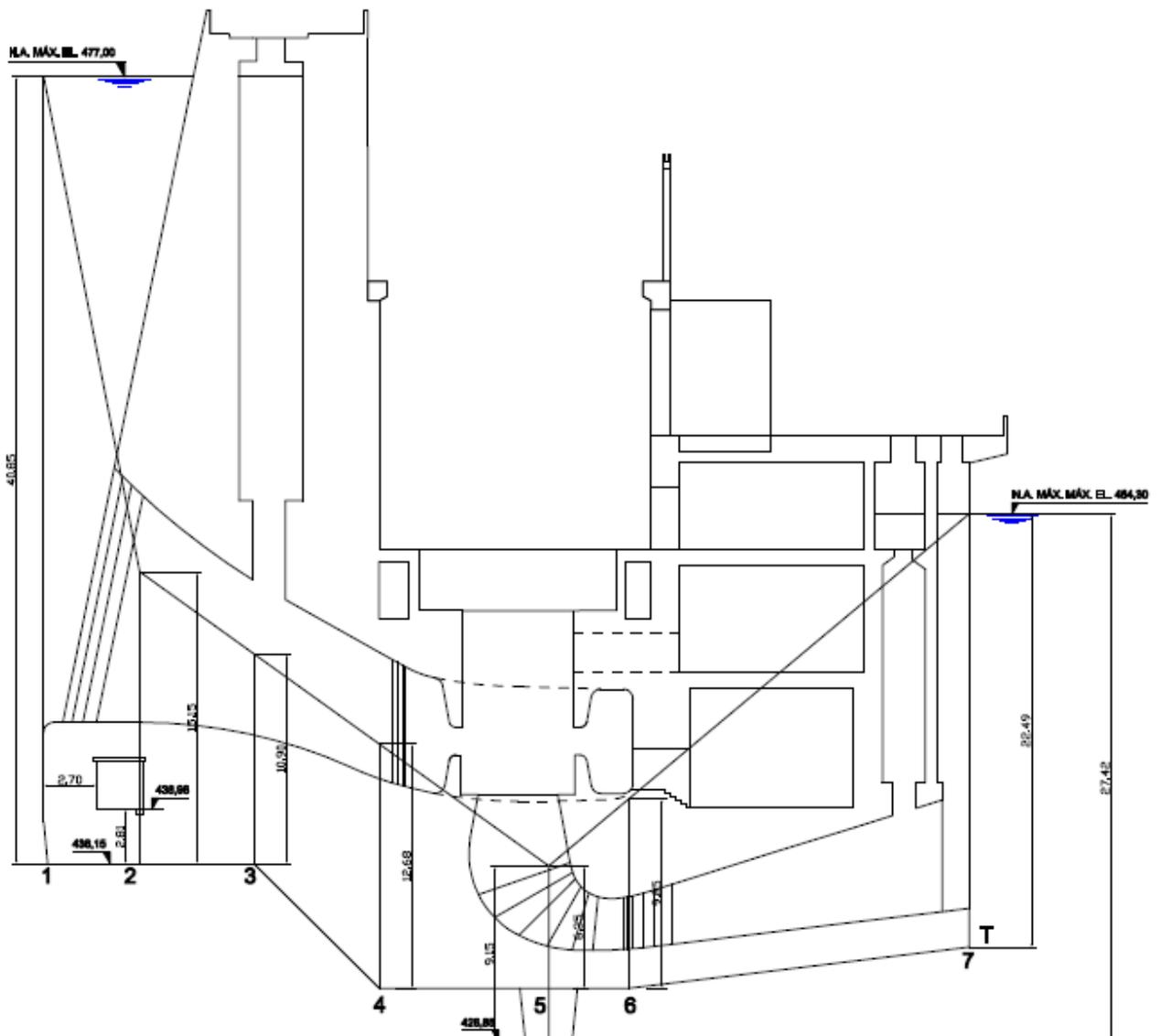


Figura 49 - Diagrama de Subpressões na Fundação da Casa de Força (CCE1).

CARREGAMENTO - 4 - CCE1 CASO DE CARREGAMENTO DE ENCHENTE

SUBPRESSAO

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	408.50
2	2	151.50
3	3	109.00
4	4	126.80
5	5	63.50
6	6	98.50
7	7	224.90

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	22176.00	.00	46698.30
2	2	3	.00	13983.64	.00	106053.80
3	3	4	13487.76	13487.76	-5837748.00	190606.00
4	4	5	.00	15825.35	.00	340262.50
5	5	6	.00	4918.32	.00	140660.20
6	6	7	-6204.08	49803.60	2673228.00	1996625.00
TOTAL	.....		7283.68	120194.70		-343614.40

EMPUXO D'AGUA

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	190	32	17.60	477.00	131796.80	.00	-59466710.00
2	32	1	17.60	477.00	15050.82	1400.08	-6580308.00
3	7	9	17.60	454.30	-44431.29	.00	19519550.00
TOTAL	.....			102416.30	1400.08		-46527470.00

MOMENTO RESISTENTE = 12970600.00
 MOMENTO TOMBAMENTO = 5632192.00
 F.S. AO TOMBAMENTO = 2.30

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -459107.80
 RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 121594.80
 FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 3.78

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	144.22	-266.98	-266.98	144.22
2	2	144.22	-289.05	-289.05	144.22
3	3	144.22	-318.96	-318.96	144.22
4	4	112.35	-350.83	-168.63	327.52
5	5	112.35	-397.17	-397.17	112.35
6	6	112.35	-414.09	-414.09	112.35
7	7	123.04	-499.90	-511.28	60.30

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 2.54

Tabela 36. Resumo dos resultados CCE1

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE1	2.30	3.78	2.54	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que a Casa de Força é estável para a condição excepcional de carregamento 1 (CCE1), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.16.5 Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)

Na situação da condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2) foi verificada a hipótese de drenagem 50% inoperante.

A Figura 50 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação da Casa de Força, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

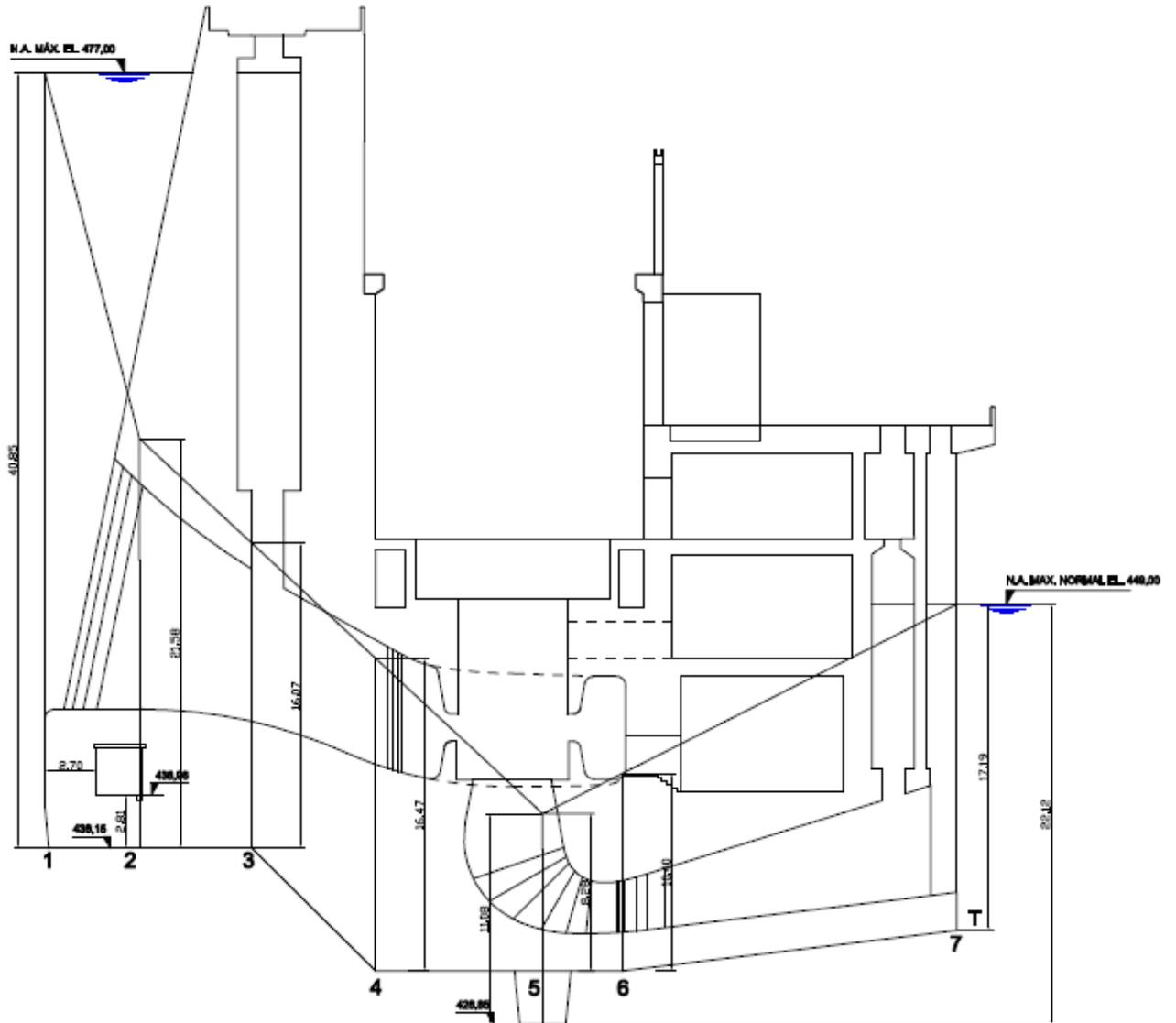


Figura 50 - Diagrama de Supressões na Fundação da Casa de Força (CCE2).

CARREGAMENTO - 5 - CCE2 CASO DE CARREGAMENTO DE DRENAGEM 50%

=====

SUBPRESSAO

=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	408.50
2	2	215.80
3	3	160.70
4	4	164.70
5	5	82.80
6	6	104.00
7	7	171.90

ESFORCOS DA SUBPRESSAO

=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	24722.28	.00	54846.39
2	2	3	.00	20210.52	.00	153624.50
3	3	4	18612.88	18612.88	-8057268.00	261758.80
4	4	5	.00	20582.10	.00	442593.80
5	5	6	.00	5671.25	.00	161858.90
6	6	7	-5292.85	42488.60	2280315.00	1685429.00
TOTAL			13320.03	132287.60		-3016842.00

EMPUXO D'AGUA

=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
				FORCA X	FORCA Y	MOMENTO	
1	190	32	17.60	477.00	131796.80	.00	-59466710.00
2	32	1	17.60	477.00	15050.82	1400.08	-6580308.00
3	7	9	17.60	449.00	-25943.22	.00	11351540.00
TOTAL				120904.40	1400.08		-54695480.00

MOMENTO RESISTENTE = 12780290.00
MOMENTO TOMBAMENTO = 6275573.00
F.S. AO TOMBAMENTO = 2.04

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -456660.90
RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 133687.70
FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 3.42

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

=====

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	183.70	-184.55	-184.55	183.70
	2	183.70	-219.39	-219.39	183.70
2	2	183.70	-219.39	-219.39	183.70
	3	183.70	-266.61	-266.61	183.70
3	3	183.70	-266.61	-58.63	318.42
	4	133.38	-316.93	-129.79	318.42
4	4	133.38	-316.93	-316.93	133.38
	5	133.38	-390.09	-390.09	133.38
5	5	133.38	-390.09	-390.09	133.38
	6	133.38	-416.80	-416.80	133.38
6	6	133.38	-416.80	-430.09	80.84
	7	150.26	-552.27	-566.61	80.84

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.30
FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 2.00
F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 2.02

Tabela 37. Resumo dos resultados CCE2

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCE2	2.04	3.42	2.02	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que a Casa de Força é estável para a condição excepcional de carregamento 2 (CCE2), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

4.16.6 Condição de Carregamento Limite (CCL)

Na situação da condição de Carregamento Limite (CCL) foi verificada a hipótese de drenagem 100% inoperante.

A Figura 51 apresenta o diagrama de subpressões (m.c.a.) na fundação da Casa de Força, bem como o ponto indicado onde foram realizadas as análises de tombamento.

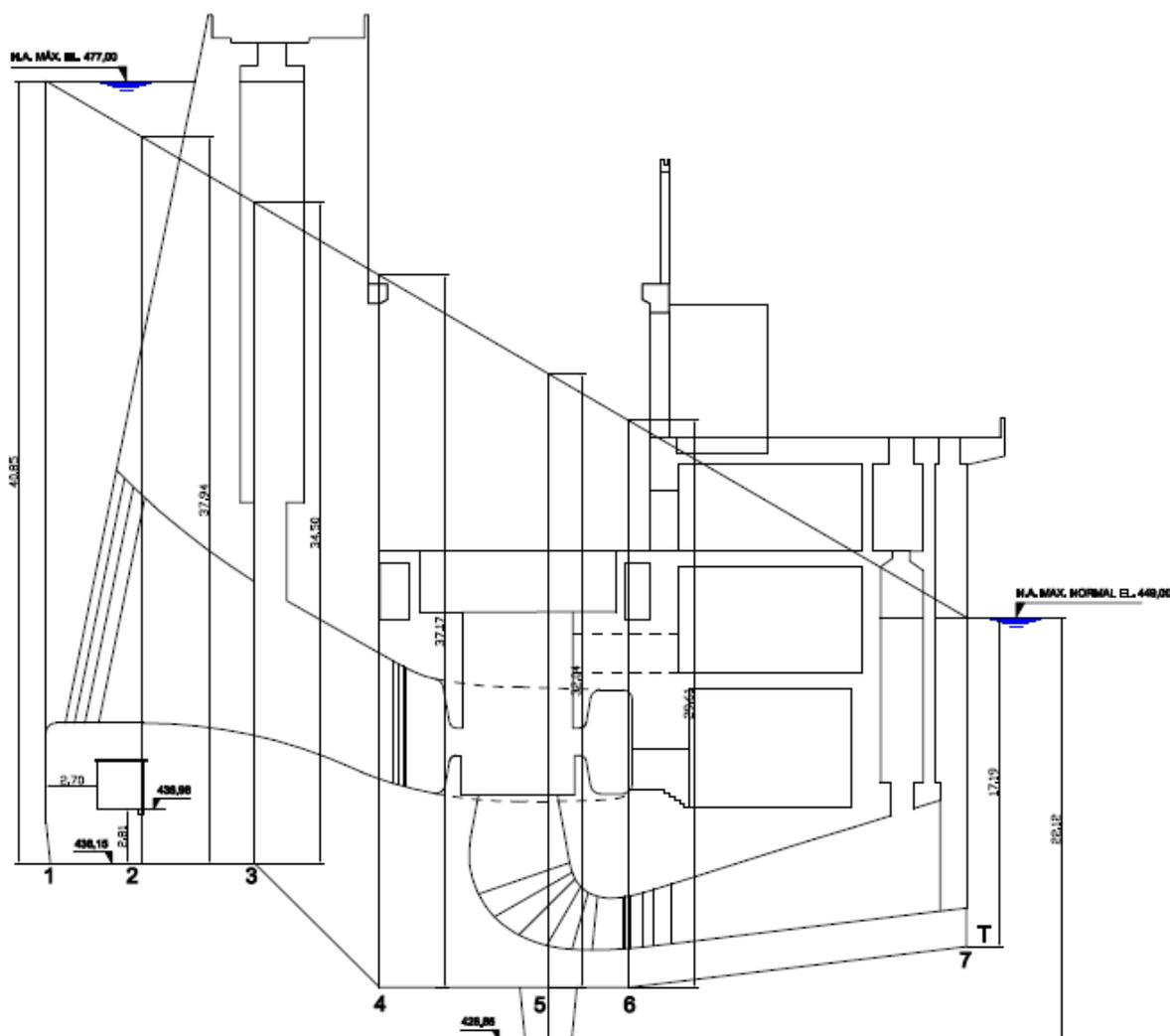


Figura 51 - Diagrama de Supressões na Fundação da Casa de Força (CCL).

CARREGAMENTO - 5 - CCL CASO DE CARREGAMENTO DE DRENAGEM INOPERANTE
=====**SUBPRESSAO**
=====

NPS	NO	SUBPRESSAO
1	1	408.50
2	2	379.40
3	3	345.00
4	4	371.70
5	5	320.40
6	6	296.10
7	7	171.90

ESFORCOS DA SUBPRESSAO
=====

NLF	N1	N2	FORCA X	FORCA Y	FX * Y	FY * X
1	1	2	.00	31200.84	.00	75577.78
2	2	3	.00	38885.80	.00	299487.60
3	3	4	40995.24	40995.24	-17745190.00	577637.60
4	4	5	.00	57555.04	.00	1260931.00
5	5	6	.00	18716.95	.00	532540.80
6	6	7	-8978.08	72072.00	3866353.00	2751418.00
TOTAL	.....		32017.16	259425.80		-8381241.00

EMPUXO D'AGUA
=====

NLE	N1	N2	ESP	N.AGUA	ESFORCOS NA ORIGEM		
					FORCA X	FORCA Y	MOMENTO
1	190	32	17.60	477.00	131796.80	.00	-59466710.00
2	32	1	17.60	477.00	15050.82	1400.08	-6580308.00
3	7	9	17.60	449.00	-25943.22	.00	11351540.00
TOTAL	.....				120904.40	1400.08	-54695480.00

MOMENTO RESISTENTE = 12780290.00
MOMENTO TOMBAMENTO = 9630485.00
F.S. AO TOMBAMENTO = 1.33

RESULTANTE VERTICAL NEGATIVA = -456660.90
RESULTANTE VERTICAL POSITIVA = 260825.90
FATOR SEGURANÇA · FLUTUACAO = 1.75

TENSAO NOS PONTOS DE FUNDACAO

NLF	NO	HORIZONTAL	VERTICAL	NORMAL	TANGENCIAL
1	1	211.49	-3.66	-3.66	211.49
	2	211.49	-45.72	-45.72	211.49
2	2	211.49	-45.72	-45.72	211.49
	3	211.49	-102.74	-102.74	211.49
3	3	211.49	-102.74	76.89	222.19
	4	150.73	-163.50	-9.03	222.19
4	4	150.73	-163.50	-163.50	150.73
	5	150.73	-251.84	-251.84	150.73
5	5	150.73	-251.84	-251.84	150.73
	6	150.73	-284.09	-284.09	150.73
6	6	150.73	-284.09	-300.54	114.45
	7	171.10	-447.67	-465.39	114.45

FATOR DE MINORACAO DO ATRITO = 1.10
FATOR DE MINORACAO DA COESAO = 1.50
F. SEGURANÇA ESCORREGAMENTO = 1.53

Tabela 38. Resumo dos resultados CCL

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCL	1.33	1.75	1.53	0,0	0

Visto que os fatores de segurança são superiores ao mínimo, as tensões verticais na base são todas de compressão e o valor da tensão máxima na fundação é menor que a tensão admissível, conclui-se que a Casa de Força é estável para a condição limite de carregamento (CCL), de acordo com os dados e parâmetros utilizados.

5 LIMITES DA INSTRUMENTAÇÃO

Com base nos estudos acima, foram levantados os limites de atenção e alerta da instrumentação da usina conforme instalada (projeto "as-is") nas estruturas de concreto. Para isso foi feito um estudo adicional iterativo, no qual se vai aumentando aos poucos as subpressões nos drenos até que o ponto aonde a estrutura passa a não atender mais os limites de segurança de critério de projeto.

Para o cálculo da cota de atenção da instrumentação, foi-se aumentando as subpressões até os fatores de segurança passarem a não atender mais aos limites do caso de carregamento normal, ou seja, $FST < 1,5$, $FSF < 1,3$ e $FSD < 1,0$; e foi observado ainda o limite de abertura de junta de tração a montante da estrutura.

Para o cálculo da cota de alerta da instrumentação, foi-se aumentando as subpressões até os fatores de segurança passarem a não atender mais aos limites do caso de

carregamento excepcional, ou seja, $FST < 1,2$, $FSF < 1,1$ e $FSD < 1,0$; e foi observado ainda o limite de abertura de junta de tração a montante da estrutura.

Na Tabela 39 abaixo estão apresentados estes novos limites de referência.

Tabela 39. Limites de referência

Localização	Instrumentos (Nº Atual)	Cota Piezométrica Limite (m)	
		Atenção	Alerta
CF/TA	PZ-1 (PZ-101)	466,50	472,15
	PZ-2 (PZ-102)	466,50	472,15
	PZ-3 (PZ-103)	466,50	472,15
	PZ-4 (PZ-104)	466,50	472,15
	PZ-5 (PZ-105)	466,50	472,15
	PZ-6 (PZ-106)	466,50	472,15
	PZ-7 (PZ-107)	466,50	472,15
	PZ-8 (PZ-108)	466,50	472,15
	PZ-9 (PZ-109)	463,50	468,15
	PZ-10 (PZ-110)	458,20	461,10
	PZ-11 (PZ-111)	463,50	468,15
	PZ-12 (PZ-112)	458,20	461,10
	PZ-13 (PZ-113)	463,50	468,15
	PZ-14 (PZ-114)	458,20	461,10
	PZ-15 (PZ-115)	463,50	468,15
	PZ-16 (PZ-116)	458,20	461,10
	PZ-17 (PZ-117)*	436,00	449,40
	PZ-18 (PZ-118)*	436,00	449,40
	PZ-19 (PZ-119)*	436,00	449,40
	PZ-20 (PZ-120)*	436,00	449,40
	PZ-21 (PZ-121)*	439,95	449,35
	PZ-22 (PZ-122)*	439,95	449,35
	PZ-23 (PZ-123)*	439,95	449,35
	PZ-24 (PZ-124)*	439,95	449,35
AM - Bl. 3	PZ-25-3BP (PZ-125)	468,35	470,85
	PZ-26-3BP (PZ-126)	468,35	470,85
	PZ-27-3BP (PZ-127)	464,90	466,50
	PZ-28-3BP (PZ-128)	462,20	463,25
VT - Bl. 1 e 2	PZ-29-VT (PZ-129)	467,70	472,65
	PZ-30-VT (PZ-130)	467,70	472,65
	PZ-31-VT (PZ-131)	467,70	472,65
	PZ-32-VT (PZ-132)	467,70	472,65
CCR - Bl. 4	PZ-33-4BP (PZ-133)	466,10	471,00
	PZ-34-4BP (PZ-134)	466,10	471,00
	PZ-35-4BP (PZ-135)	459,70	463,30
	PZ-36-4BP (PZ-136)	457,90	460,90
CCR - Bl. 5	PZ-37-5BP (PZ-137)	466,15	471,70
	PZ-38-5BP (PZ-138)	466,15	471,70
	PZ-39-5BP (PZ-139)	459,00	462,25
	PZ-40-5BP (PZ-140)	457,05	459,70
CCR - Bl. 6	PZ-41-6BP (PZ-141)	466,15	471,70
	PZ-42-6BP (PZ-142)	466,15	471,70
	PZ-43-6BP (PZ-143)	459,00	462,25
	PZ-44-6BP (PZ-144)	457,05	459,70
ML	PZ-45 - BL (PZ-148)	469,50	470,00
	PZ-46 - BL (PZ-149)	473,50	475,30
	PZ-47- BL (PZ-150)	473,50	475,30

6 RESUMO DOS RESULTADOS

Neste item estão apresentados os resumos gerais dos fatores de segurança ao tombamento, flutuação e deslizamento, bem como as tensões nas fundações das estruturas de concreto da UHE Caçu, para os vários casos de carregamento analisados (Tabela 40, Tabela 41, Tabela 42, Tabela 43, Tabela 44, Tabela 45 e Tabela 46)

6.1 BLOCO 2

Tabela 40. Resumo dos resultados Bloco 2.

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	1.90	5.41	1.27	0,0	0
CCE1	1.84	4.33	1.60	0,0	0
CCE2	1.73	4.10	1.51	0,0	0
CCL	1.49	2.84	1.70	0,0	0

6.2 BLOCO 3

Tabela 41. Resumo dos resultados Bloco 3.

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	1.97	5.06	1.40	0,0	0
CCE1	1.79	3.60	1.70	0,0	0
CCE2	1.80	4.03	1.66	0,0	0
CCL	1.61	3.10	1.90	0,0	0

6.3 BLOCO 4

Tabela 42. Resumo dos resultados Bloco 4.

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	1.80	3.22	1.23	0,0	0
CCN2	1.90	3.58	1.27	0,0	0
CCE1	1.68	2.66	1.60	0,0	0
CCE2	1.67	2.81	1.45	0,0	0
CCL	1.48	2.27	1.63	0,0	0

6.4 BLOCOS 5 e 6

Tabela 43. Resumo dos resultados Blocos 5 e 6.

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	1.68	3.17	1.17	0,0	0
CCN2	1.72	3.30	1.19	0,0	0
CCE1	1.59	2.65	1.54	0,0	0
CCE2	1.57	2.79	1.39	0,0	0
CCL	1.41	2.28	1.56	0,0	0

6.5 BLOCO DE LIGAÇÃO

Tabela 44. Resumo dos resultados Bloco de Ligação.

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	2.17	5.82	1.63	0,0	0
CCN2	1.52	2.27	1.27	0,0	0
CCE1	2.17	5.83	2.06	0,0	0
CCE2	1.96	4.41	1.97	0,0	0
CCL	1.68	3.08	2.27	0,0	0

6.6 VERTEDOURO

Tabela 45. Resumo dos resultados Vertedouro.

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	2.18	4.96	1.23	0,0	0
CCN2	2.88	9.23	2.31	0,0	0
CCE1	2.03	3.86	1.60	0,0	0
CCE2	1.94	4.01	1.45	0,0	0
CCL	1.62	2.98	1.63	0,0	0

6.7 TOMADA D'ÁGUA E CASA DE FORÇA

Tabela 46. Resumo dos resultados Bloco de Ligação.

Fatores de segurança	Tombamento	Flutuação	Escorregamento	Comprimento tracionado na base (m)	% da base tracionada
CCN1	2.36	4.35	1.80	0,0	0
CCN2	2.90	7.57	1.92	0,0	0
CCM	2.22	4.08	1.69	0,0	0
CCE1	2.30	3.78	2.54	0,0	0
CCE2	2.04	3.42	2.02	0,0	0
CCL	1.53	1.75	1.53	0,0	0

7 CONCLUSÃO

Atendendo às exigências da REN n. 696/2015 ANEEL, foi feita revisão dos estudos de estabilidade de seções transversais instrumentadas dos blocos chave das estruturas de concreto. As análises seguiram os critérios indicados no documento “Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas”, emitido pela Eletrobrás em 2003.

No início das atividades para cálculo da estabilidade das estruturas foram avaliadas as documentações disponíveis do empreendimento, sendo estas nos níveis de Projeto Básico, Projeto Executivo e Projeto Como Construído. Foram ainda tomados como base as análises de estabilidades feitas no documento 432-CAC-RT-RES-REV_1.

Foram feitas análises de estabilidade para seções das estruturas de concreto seguindo a metodologia do documento “Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas”, emitido pela Eletrobrás, sendo os cálculos realizados com o auxílio de programa computacional desenvolvido exclusivamente para análises de estabilidades globais de estruturas de concreto de usinas hidrelétricas. Nas análises, os parâmetros dos materiais foram adotados conforme identificado na documentação técnica do aproveitamento. No item-6 estão apresentados o resumo dos fatores de segurança.

Com base nos estudos elaborados podemos afirmar que as estruturas de concreto da UHE Caçu encontram-se estáveis para as situações de cálculo adotadas e definidas neste estudo, e atendem aos critérios de projeto da Eletrobrás quanto a segurança estrutural.

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	2
2	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	2
2.1	CONCLUSÕES	2
2.2	RECOMENDAÇÕES	4
3	RELATÓRIO TÉCNICO-FOTOGRAFICO	4
3.1	CASA DE FORÇA.....	5
3.2	BARRAGEM NA MARGEM DIREITA E TOMADA D'ÁGUA.....	14
3.3	BARRAGEM DE LIGAÇÃO E VERTEDOIRO.....	16
3.4	BARRAGEM NA MARGEM ESQUERDA	19
4	BIBLIOGRAFIA	22
5	APÊNDICE.....	22

1 APRESENTAÇÃO

Este relatório técnico e fotográfico contém o parecer especializado da Fractal Engenharia, sobre as condições de segurança estrutural referente a todas as estruturas de concreto da UHE Caçu.

As observações e recomendações aqui pontuadas são relativas às inspeções visuais de campo nas estruturas de concreto CCR, concreto armado, concreto protendido, pré-moldados e estruturas metálicas, as quais foram realizadas no dia 15 de abril de 2021.

Foi utilizado ainda o drone para aproximação das imagens nas áreas externas da usina.

As inspeções de campo foram realizadas pelo Eng^o Civil e Estrutural Leonardo Mazziotti – CREA [REDACTED] (Fractal Engenharia [REDACTED]) acompanhado da Eng^a Civil Giorgia Moecke CREA [REDACTED] (Fractal Engenharia – [REDACTED]) e da equipe técnica da KINROSS representada em campo pelos Eng^o Wendell Lima, Eng^o Clésio Lira, Eng^o Johnny Alves e Eng^o Delano, sob a gerência do Eng^o. Leonardo Padula (Kinross/MG [REDACTED]).

A inspeção iniciou-se nas estruturas da crista da Barragem na margem direita, Tomada D'água, Barragem de ligação e Vertedouro, indo até a crista da Barragem na margem esquerda. Logo após foram feitas as inspeções nas galerias de drenagem e no interior das estruturas da Área de Montagem e da Casa de Força da usina. Na UHE Caçu não foram feitas inspeções internas na caixa espiral e no tubo de sucção da turbina.

Vale ressaltar que durante todo o período das inspeções na UHE Caçu todas as medidas de segurança de trabalho, meio ambiente e protocolos COVID-19 foram estritamente cumpridas com rigor, e não houve incidentes, e assim, os trabalhos foram concluídos com sucesso.

2 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados da inspeção estrutural visual nas estruturas civis da UHE Caçú, apresento as conclusões finais e recomendações técnicas sobre as condições de segurança global e local das principais estruturas civis da usina.

2.1 CONCLUSÕES

As estruturas civis da usina se encontram em bom estado de conservação, não necessitando de maiores intervenções além daquelas rotineiras já adotadas nos procedimentos de manutenção preventiva e corretiva da usina, porém, nos casos citados abaixo, é recomendado maior atenção:



1. No Vertedouro foram observadas na superfície vertente da calha do rápido, mais especificamente nos blocos 1 e 2, erosões de pequeno a médio grau de intensidade (FOTO 49), e serão necessários reparos corretivos superficiais em cerca de 40 m² para os 2 vãos do Vertedouro. Estes reparos são superficiais e não afetam a estabilidade do vertedouro, e devem ser feitos em até dois anos visando não agravar a situação da superfície da calha vertente com a exposição de armaduras, e assim onerar os custos dos reparos. A execução deverá seguir conforme a especificação técnica apresentada no Apêndice 1;

2. Quanto as vigas munhão, visualmente não há sinais de descompressão da junta protendida entre estas vigas e os pilares do vertedouro (FOTO 45), porém, como é conhecido o problema de infiltração de água com início de um processo de corrosão, foi feito um estudo a parte sobre este tema e encaminhado para avaliação da Kinross;

3. Na Casa de Força foi observado uma flambagem lateral dos pilares de montante da estrutura metálica de suporte da cobertura (FOTO 5), para o qual recomendo executar um travamento lateral metálico a meia altura, de forma a evitar deformações acentuadas e comprometer a resistência da estrutura. Não é nada urgente, mas não deve ser postergado demais pois não se conhece o projeto, a recomendação é fazer em até 1 ano ou menos.

Ainda dentro da Casa de Foça, na junta de contração da Área de Montagem com o bloco da CF1 e na junta de contração entre os blocos da CF1 e CF2, há uma surgência de água na parede de montante (FOTO 11) que se estende pelo piso da galeria mecânica (FOTO 18), muito provavelmente causado por falhas na concretagem ou falhas nos veda-juntas. Essas surgências costumam cessar ou aumentar com o tempo, e o recomendado (por enquanto) é remediar, ou seja, secar com pano externamente a parede e o piso para evitar o contato desta umidade com as partes metálicas ao redor, e observar a evolução ou diminuição da infiltração. Estas infiltrações nas juntas não é nada que afete estruturalmente a Casa de Força;

4. Quanto a situação das galerias de drenagem da Barragem CCR, as mesmas se encontram em bom estado estrutural e de conservação, porém foi observado na inspeção na galeria de drenagem da barragem na margem esquerda, mais especificamente entre os blocos 2 e 3, que existe uma pequena surgência de água no teto e na parede de montante da galeria (FOTO 61), provavelmente causada por juntas frias ou falhas na concretagem durante a obra, o que difere do restante das paredes das galerias de drenagem dos demais blocos da barragem CCR, as quais estão completamente secas. Foi observado ainda que as drenagens profundas (fundação) e as drenagens de face (paramento) estão funcionando, e sendo assim recomendo apenas observar esta região entre os blocos 2 e 3 na margem esquerda da barragem para verificar a evolução destas infiltrações.



Caso haja um aumento progressivo destas infiltrações em relação ao que se observa hoje, deverá ser avaliada uma execução de injeções com polímeros, porém no momento não afeta a estabilidade estrutural.

Todas as demais estruturas de concreto da usina estão em muito bom estado de conservação, necessitando apenas de manutenções corretivas pontuais, conforme apresentado no relatório técnico-fotográfico a seguir.

2.2 RECOMENDAÇÕES

Com relação ao observado nas atividades relacionadas à Inspeção nas Estruturas de Concreto da UHE Caçu, as recomendações de adequação e melhorias nas estruturas foram apresentadas tomando como base os prazos apresentados na Tabela 1. A “*data zero*”, faz referência ao dia 01/06/2021, referente a aprovação deste documento. Os prazos poderão ser revisados desde que devidamente acordados e aprovados, entre o empreendedor e a consultoria.

TABELA 1. RECOMENDAÇÕES DA REVISÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	FOTOS	PRAZO
1	Vertedouro	Recomenda-se a realização de reparos corretivos superficiais em cerca de 40 m ² para os vãos 1 e 2 do Vertedouro.	FOTO 49	2 anos
2	Barragem ME	Recomenda-se monitorar por observação as infiltrações na parede de montante e no teto da galeria de drenagem na junta de contração entre os blocos 2 e 3 da Barragem na margem esquerda.	FOTO 61	1 ano
3	Casa de Força	Recomenda-se contraventar lateralmente a estrutura metálica de montante que suporta a cobertura da CF.	FOTO 5	1 ano
4	Casa de Força	Recomenda-se monitorar as infiltrações na parede de montante entre a AM e a UG-1 e no piso entre UG-1 e UG-2, e secar constantemente as superfícies com pano para evitar água escorrendo pela Casa de Força e em contato com as partes metálicas e equipamentos da usina.	FOTO 11 FOTO 18	1 ano

3 RELATÓRIO TÉCNICO-FOTOGRAFICO

A UHE Caçu possui as seguintes estruturas principais de concreto, as quais foram objeto deste relatório:

- Barragem CCR na margem direita;
- Barragem CCR, Tomada D'água, Área de Montagem e Casa de Força;
- Barragem de Ligação em CCR;
- Vertedouro com 3 comportas hidráulicas;
- Barragem em CCR na margem esquerda.



FIGURA 1. UHE CAÇU / VISTA GERAL DO EMPREENDIMENTO.
FONTE: FOTOS AÉREAS, KINROSS BRASIL MINERAÇÃO S.A (2020).

3.1 CASA DE FORÇA

SEGUE ABAIXO O RELATÓRIO FOTOGRÁFICO, BEM COMO ALGUMAS RECOMENDAÇÕES PONTUAIS DO QUE FOI OBSERVADO NA ESTRUTURA DA CASA DE FORÇA, ÁREA DE MONTAGEM, BACIA E PÁTIO DOS TRANSFORMADORES E PÓRTICO DE SAÍDA DE LINHA.



FOTO 1. CASA DE FORÇA – VISTA GERAL – PAREDES DO CONTRAFORTE DE JUSANTE, PÁTIO DOS TRANSFORMADORES, PAREDES CORTA-FOGO E ESTRUTURA DE SAÍDA DE LINHA SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 2. PAREDES CORTA FOGO E ESTRUTURA DE SAÍDA DE LINHA – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 3. LAJE DO PÓRTICO DA SUCÇÃO – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 4. ÁREA DE MONTAGEM – PILARES E VIGAS DA PONTE ROLANTE - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 5. PILARES METÁLICOS DE MONTANTE DA ESTRUTURA DA COBERTURA – SINAIS VISUAIS DE DEFORMAÇÃO LATERAL EXCESSIVA – RECOMENDO CONTRAVENTAR A MEIA ALTURA.



FOTO 6. PILARES E VIGAS DA PONTE ROLANTE – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.

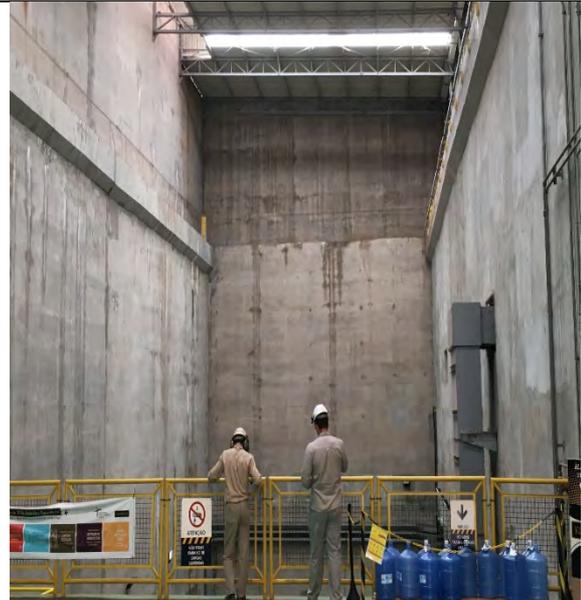


FOTO 7. PAREDES DA CASA DE FORÇA – ALGUMAS POUÇAS INFILTRAÇÕES DE PEQUENA MAGNITUDE A MONTANTE – SEM COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL VISÍVEL.



FOTO 8. PAREDES DE MONTANTE DA CASA DE FORÇA (UG1 E UG2) – ALGUMAS POUÇAS INFILTRAÇÕES DE PEQUENA MAGNITUDE – SEM COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL VISÍVEL.



FOTO 9. PAREDES E PILARES DE JUSANTE DA CASA DE FORÇA (UG1 E UG2) – SEM COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL VISÍVEL.



FOTO 10. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE AM E CF – RECOMENDO MONITORAR. SUPERFÍCIE DEVE SER SECADA COM PANO PARA EVITAR ÁGUA ESCORRENDO PELA CF E EM CONTATO COM AS PARTES METÁLICAS E EQUIPAMENTOS DA USINA.



FOTO 11. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE AM E CF – RECOMENDO MONITORAR. SUPERFÍCIE DEVE SER SECADA COM PANO PARA EVITAR ÁGUA ESCORRENDO PELA CF E EM CONTATO COM AS PARTES METÁLICAS E EQUIPAMENTOS DA USINA.



FOTO 12. BARRIL DO GERADOR – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL OU TÉRMICO.



FOTO 13. BARRIL DO GERADOR – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL OU TÉRMICO.



FOTO 14. LAJE DO PISO DO GERADOR – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 15. ESTRUTURA DE SUPORTE DO PISO DA ÁREA DE MONTAGEM – SEM COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL VISÍVEL.

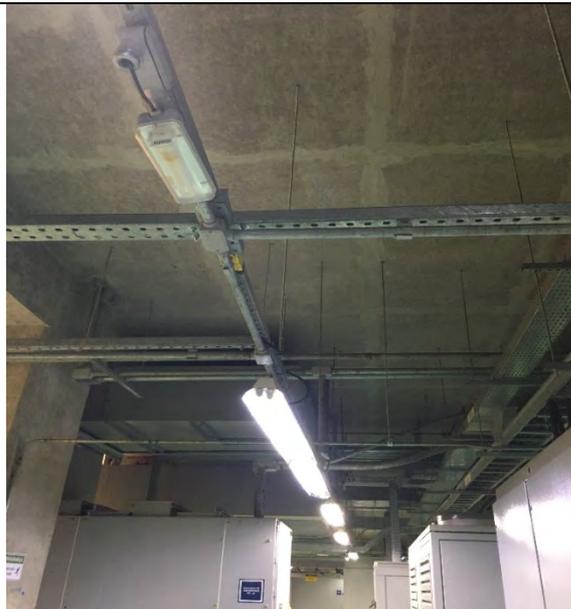


FOTO 16. LAJE DA BACIA DOS TRANSFORMADORES (TETO DA GALERIA ELÉTRICA) – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.

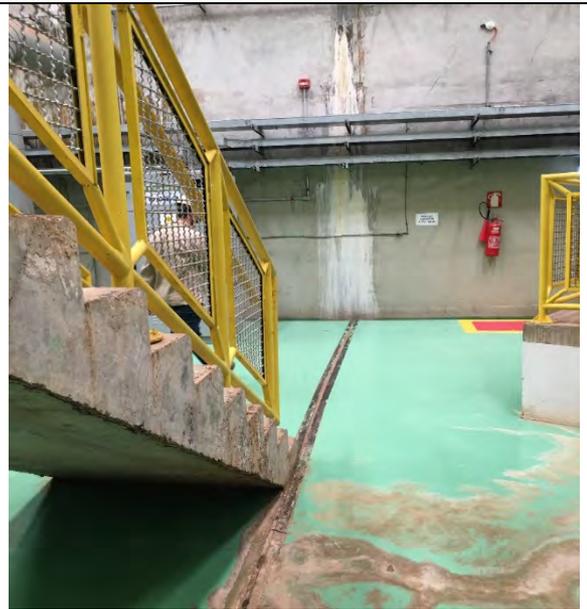


FOTO 17. JUNTA DE DILATAÇÃO ENTRE UG1 E UG2 – CARBONATAÇÃO E INFILTRAÇÃO NO PISO – NÃO APARECE SINAIS DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL, PORÉM O PISO DEVE SER SECADO COM PANO PARA EVITAR ÁGUA EM CONTATO COM AS PARTES METÁLICAS E EQUIPAMENTOS DA USINA.



FOTO 18. JUNTA DE DILATAÇÃO ENTRE UG1 E UG2 – INFILTRAÇÃO NO PISO – NÃO APARENTA SINAIS DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL, PORÉM O PISO DEVE SER SECADO COM PANO PARA EVITAR ÁGUA EM CONTATO COM AS PARTES METÁLICAS E EQUIPAMENTOS DA USINA.

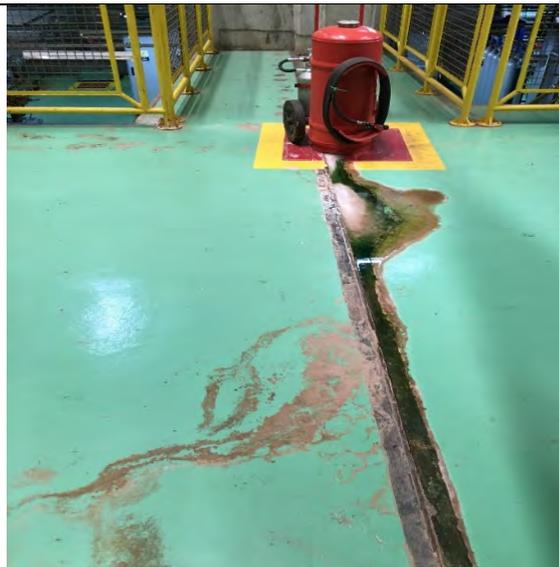


FOTO 19. JUNTA DE DILATAÇÃO ENTRE UG1 E UG2 – INFILTRAÇÃO NO PISO – NÃO APARENTA SINAIS DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL, PORÉM O PISO DEVE SER SECADO COM PANO PARA EVITAR ÁGUA EM CONTATO COM AS PARTES METÁLICAS E EQUIPAMENTOS DA USINA.



FOTO 20. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE AM E UG1 NA DESCIDA PARA A GALERIA MECÂNICA – NÃO APARENTA SINAIS DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL, PORÉM SUPERFÍCIE DEVE SER SECADA COM PANO PARA EVITAR ÁGUA ESCORRENDO PELA CF E EM CONTATO COM AS PARTES METÁLICAS E EQUIPAMENTOS DA USINA.

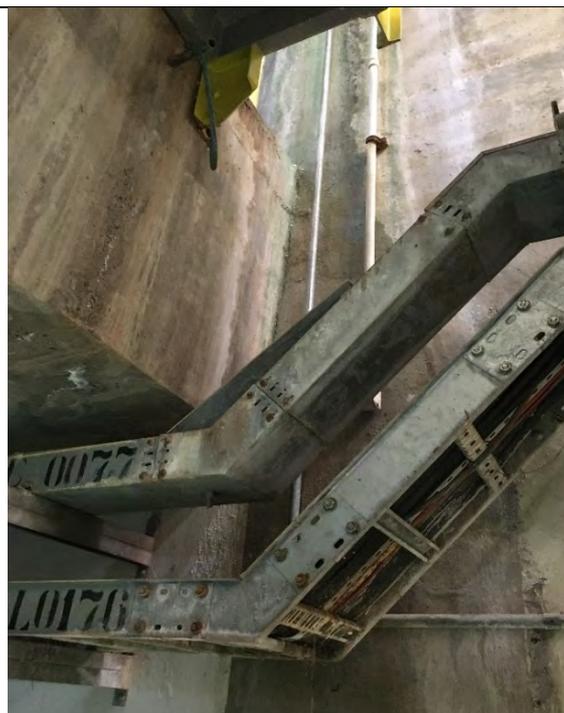


FOTO 21. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE AM E UG1 NA DESCIDA PARA A GALERIA MECÂNICA – NÃO APARENTA SINAIS DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL, PORÉM SUPERFÍCIE DEVE SER SECADA COM PANO PARA EVITAR ÁGUA ESCORRENDO PELA CF E EM CONTATO COM AS PARTES METÁLICAS E EQUIPAMENTOS DA USINA.



FOTO 22. ABERTURA NA LAJE PARA DESCIDA DAS BOMBAS NOS POÇOS DE DRENAGEM E ESGOTAMENTO – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 23. LAJE ESTANQUE DOS POÇOS DE DRENAGEM E ESGOTAMENTO – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.

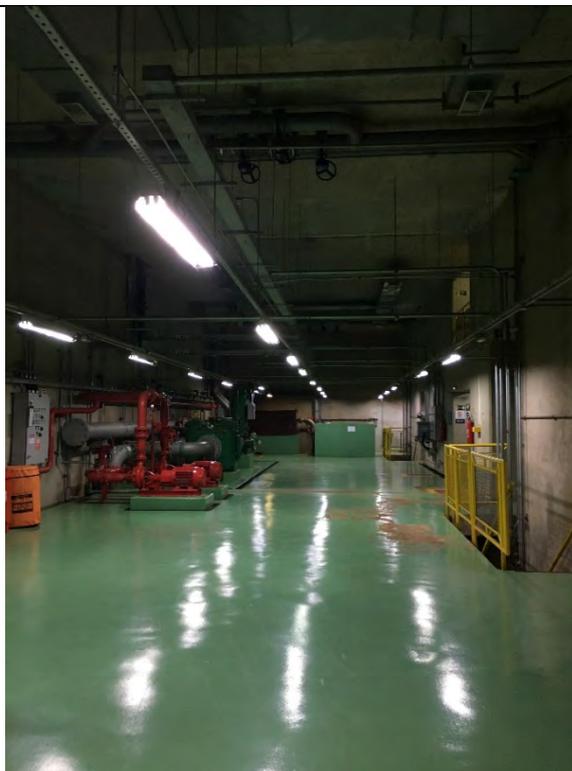


FOTO 24. PISO E TETO DA GALERIA MECÂNICA – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.

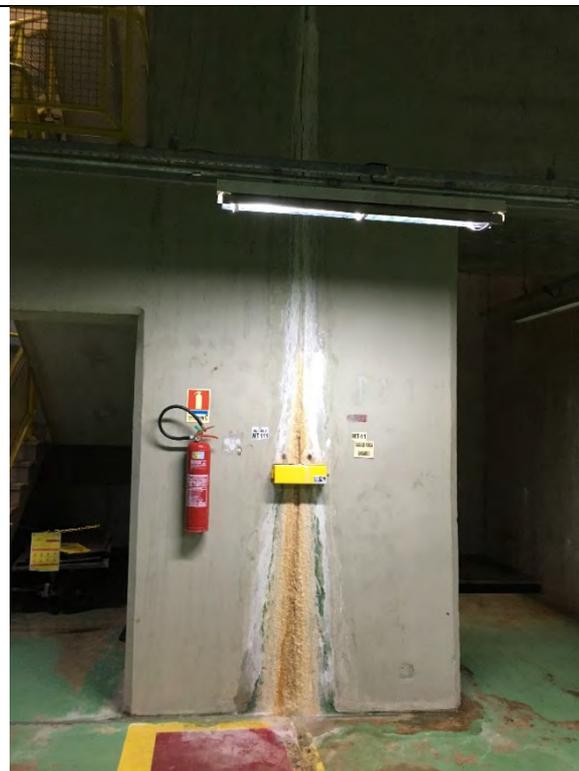


FOTO 25. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE UG1 E UGE – CARBONATAÇÃO – RECOMENDAÇÃO DE MONITORAMENTO.



FOTO 26. GALERIA DE ACESSO AO ROTOR DO GERADOR - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 27. PAREDES INTERNAS DO BARRIL DO GERADOR - SEM SINAIS DE QUALQUER PROBLEMA TÉRMICO OU ESTRUTURAL.

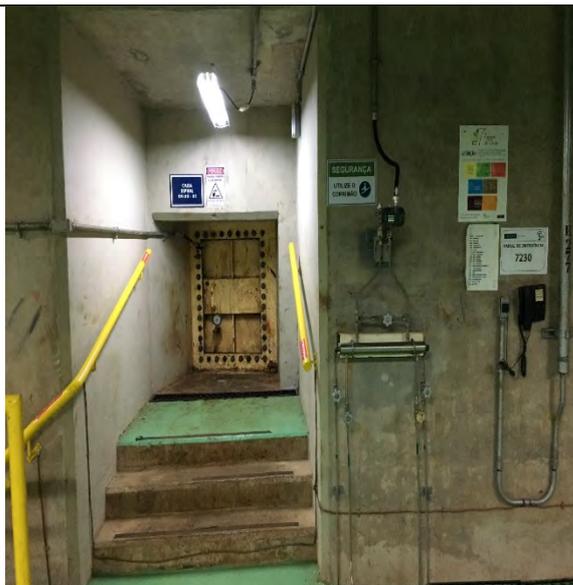


FOTO 28. GALERIA DE ACESSO ESCOTILHA DA CAIXA ESPIRAL DA UG2 - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 29. GALERIA DE ACESSO ESCOTILHA DA CAIXA ESPIRAL DA UG1 - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 30. CONCRETO DE 2º ESTÁGIO DA CAIXA ESPIRAL - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 31. CONCRETO DE 2º ESTÁGIO DA CAIXA ESPIRAL - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 32. POÇO DE VÁLVULAS DE DRENAGEM E ESGOTAMENTO E ACESSO A GALERIA DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA - NÃO HOUE INSPEÇÃO NESTA REGIÃO.

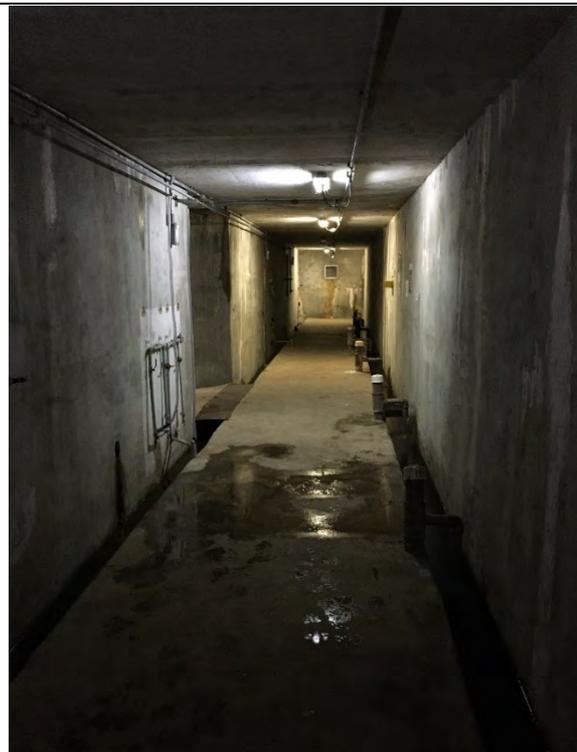


FOTO 33. GALERIA DE DRENAGEM DA CF (UG1 E UG2) - PAREDES, TETO E PISO ÍNTEGROS E A DRENAGEM PROFUNDA OPERANDO - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.

3.2 BARRAGEM NA MARGEM DIREITA E TOMADA D'ÁGUA



FOTO 34. BARRAGEM TRANSIÇÃO NA MD – VISTA DE JUSANTE - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.

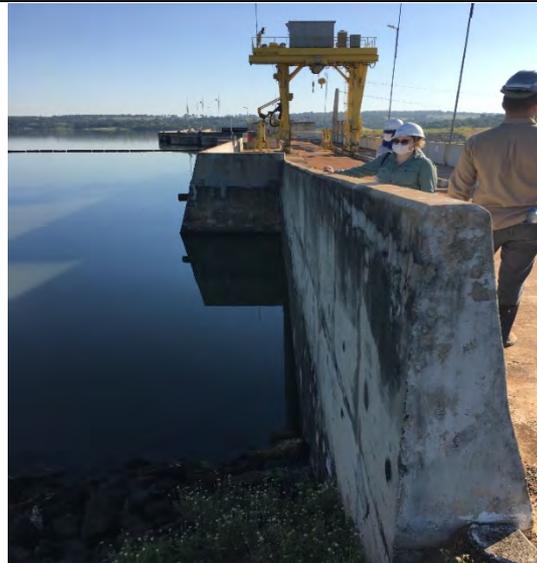


FOTO 35. BARRAGEM TRANSIÇÃO NA MD – VISTA DE MONTANTE - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.

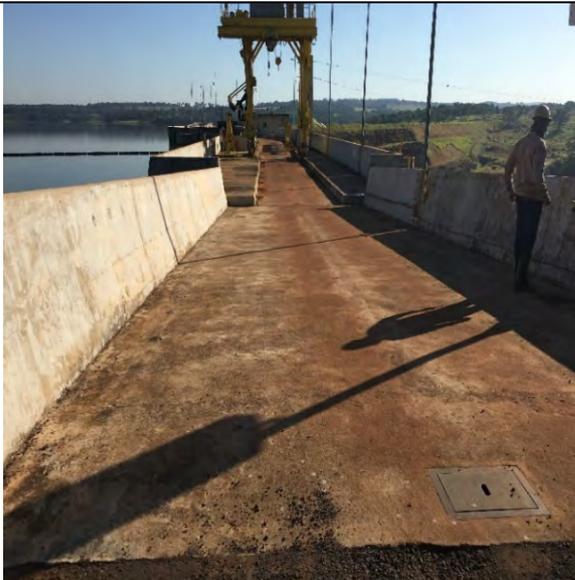


FOTO 36. CRISTA DA BARRAGEM DE TRANSIÇÃO NA MD - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.

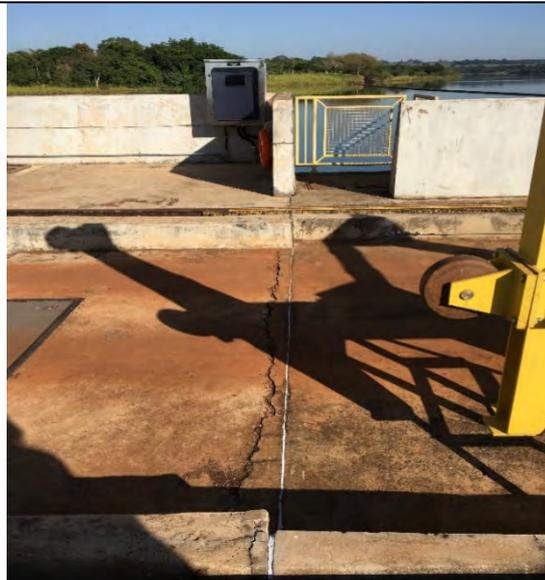


FOTO 37. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTE A BARRAGEM-MD E A TOMADA D'ÁGUA - SEM SINAIS MOVIMENTAÇÕES ANORMAIS – TRINCA DE RETRAÇÃO NA ARGAMASSA DE ACABAMENTO – SEM NECESSIDADE DE QUALQUER REPARO POIS NÃO É ESTRUTURAL.



FOTO 38. CRISTA DA TOMADA D'ÁGUA E PÓRTICO DE SAÍDA DE LINHA – SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.

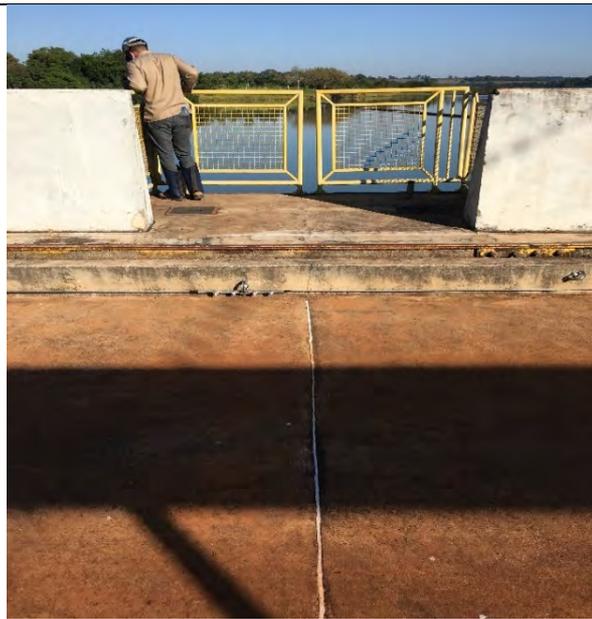


FOTO 39. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE OS BLOCOS DA TOMADA D'ÁGUA – SEM SINAIS MOVIMENTAÇÕES ANORMAIS.

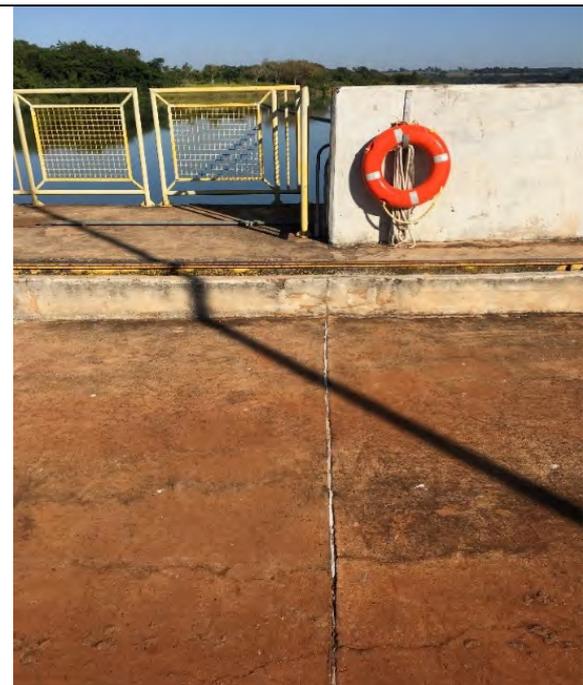


FOTO 40. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE A TOMADA D'ÁGUA E A BARRAGEM DE LIGAÇÃO – SEM SINAIS MOVIMENTAÇÕES ANORMAIS.

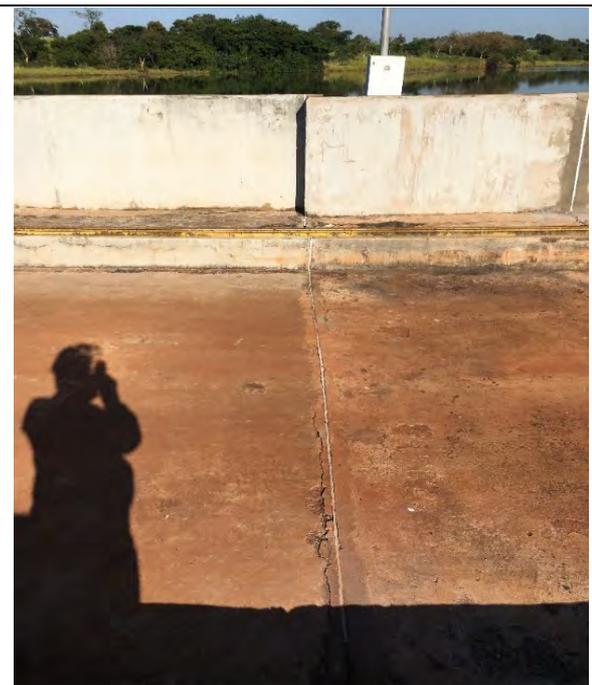


FOTO 41. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE A BARRAGEM DE LIGAÇÃO E O VERTEDOIRO – SEM SINAIS MOVIMENTAÇÕES ANORMAIS.

3.3 BARRAGEM DE LIGAÇÃO E VERTEDOURO



FOTO 42. VISTA DE MONTANTE DO VERTEDOURO- SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 43. VISTA DE JUSANTE DO VERTEDOURO - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 44. VISTA DE JUSANTE DA BARRAGEM DE LIGAÇÃO - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 45. VIGAS MUNHÃO – SEM SINAIS VISUAIS DE DESCOMPRESSÃO DA JUNTA PROTENDIDA DA VIGA COM O PILAR DO VT.

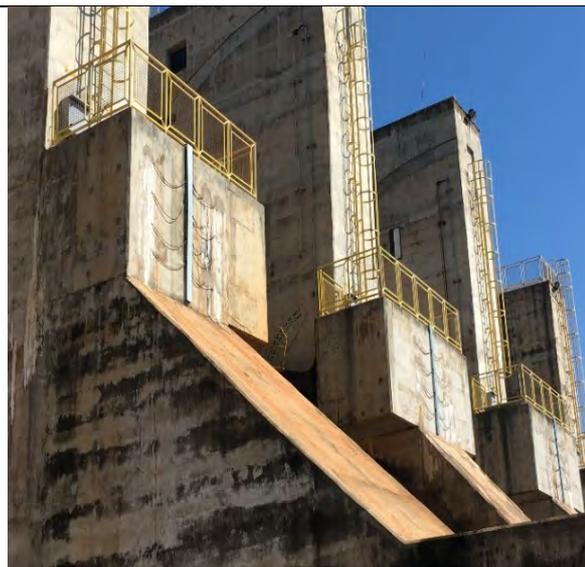


FOTO 46. VIGAS MUNHÃO – SEM SINAIS VISUAIS DE DESCOMPRESSÃO DA JUNTA PROTENDIDA DA VIGA COM O PILAR DO VT.



FOTO 47. PILAR LATERAL DO VERTEDOIRO - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 48. VERTEDOIRO - BLOCO 1 – RECOMENDO AVALIAR NO ISR ELTROMECÂNICO A MANUTENÇÃO NA VEDAÇÃO DA COMPORTEA.¹

¹ Foto referente a visita bimestral da Fractal, realizada em janeiro de 2021.



FOTO 49. DESGASTE NO CONCRETO DA SOLEIRA VERTENTE – BLOCO 2 – RECOMENDO REPAROS NO CONCRETO.



FOTO 50. DESGASTE NO CONCRETO DA SOLEIRA VERTENTE – BLOCO 3 – VISUALMENTE NÃO APARETA NECESSITAR REPAROS.²



FOTO 51. GALERIA DE DRENAGEM DO VERTEDOIRO – DRENAGEM OPERANTE - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 52. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE O VERTEDOIRO E A BARRAGEM - SEM SINAIS MOVIMENTAÇÕES ANORMAIS .

² Foto referente a visita bimestral da Fractal, realizada em janeiro de 2021.

3.4 BARRAGEM NA MARGEM ESQUERDA



FOTO 53. VISTA DE MONTANTE DA BARRAGEM NA MARGEM ESQUERDA - SEM SINAIS DE QUALQUER COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 54. CRISTA DA BARRAGEM EM CCR E DO MURO DE TRANSIÇÃO-ME COM A BARRAGEM DE TERRA – SEM SINAIS DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 55. VISTA DE JUSANTE DA BARRAGEM EM CCR E DO MURO DE TRANSIÇÃO-ME COM A BARRAGEM DE TERRA – SEM SINAIS DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 56. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE O VERTEDOIRO E A BARRAGEM-ME – SEM SINAIS MOVIMENTAÇÕES ANORMAIS – TRINCA NA ARGAMASSA DE ACABAMENTO – NÃO É NECESSÁRIO REPARO ALGUM, POIS NÃO É ESTRUTURAL.



FOTO 57. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE A BARRAGEM-ME E O MURO DE TRANSIÇÃO – SEM SINAIS MOVIMENTAÇÕES ANORMAIS – TRINCA NA ARGAMASSA DE ACABAMENTO – NÃO É NECESSÁRIO REPARO ALGUM, POIS NÃO É ESTRUTURAL.



FOTO 58. CRISTA DA BARRAGEM DA MARGEM ESQUERDA – SEM SINAIS DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 59. VISTA DE JUSANTE DA BARRAGEM-ME – ESGOTAMENTO DA DRENAGEM DAS GALERIAS A JUSANTE - SEM SINAIS DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 60. GALERIA DE DRENAGEM DA BARRAGEM-ME – NO GERAL SEM SINAIS DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL.



FOTO 61. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE OS BLOCOS 2 E 3 DA BARRAGEM-ME – INFILTRAÇÕES E CARBONATAÇÃO – SEM SINAIS MOVIMENTAÇÕES ANORMAIS – RECOMENDAÇÃO DE OBSERVAR O EVENTUAL AUMENTO DAS INFILTRAÇÕES.



FOTO 62. JUNTA DE CONTRAÇÃO NO TETO ENTRE OS BLOCOS 2 E 3 DA BARRAGEM-ME – INFILTRAÇÕES E CARBONATAÇÃO – SEM SINAIS MOVIMENTAÇÕES ANORMAIS – RECOMENDAÇÃO DE OBSERVAR O EVENTUAL AUMENTO DAS INFILTRAÇÕES.



FOTO 63. JUNTA DE CONTRAÇÃO ENTRE OS BLOCOS 2 E 3 DA BARRAGEM-ME – INFILTRAÇÕES E CARBONATAÇÃO – SEM SINAIS MOVIMENTAÇÕES ANORMAIS – RECOMENDAÇÃO DE OBSERVAR O EVENTUAL AUMENTO DAS INFILTRAÇÕES.

4 BIBLIOGRAFIA

NBR 6118 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto.

Especificações Técnicas usuais de Execução e Reparos em obras de Usinas Hidrelétricas.

5 APÊNDICE

APÊNDICE 1 – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA REPAROS NA CALHA DO RÁPIDO DO VERTEDOIRO.

- Reparos na laje da calha do rápido do Vertedouro:

Todo o concreto danificado ou defeituoso deverá ser removido, cortando, pelo menos, 2 cm de concreto sã, ao longo de todas as superfícies de contorno do reparo, em forma de cunha e com as bordas em ângulos agudos próximos a 90 graus. Em superfícies onde forem exigidos em projeto acabamentos do tipo U3 e F3 (extremamente liso e desempenado para superfícies hidráulicas), tais cortes deverão ser realizados com disco de diamante. Onde houver irregularidades abruptas e/ou graduais as saliências deverão ser eliminadas por martelamento ou por desbaste. Não cortar armaduras da estrutura.

Os reparos deverão ser feitos com argamassa do tipo “graute” epoxídico autonivelante de alto desempenho para estruturas sujeitas a cargas dinâmicas, com alta resistência inicial e f_{cj} aos 28 dias de no mínimo 52 Mpa (Emcecrete EP da MC Bauchemie, ou similar). As superfícies internas da área a ser reparada deverão ser limpas, molhadas e chapiscadas com epóxi (Sikadur 32, ou similar), ou nata de cimento com 8% de sílica ativa, que funcionará como ponte de aderência antes do lançamento do “graute” de enchimento. Deverá ser feita a cura cuidadosa dos reparos.

Quanto a sequência de execução, não existe um critério definido, porém, a boa prática diz que se deve iniciar pelos reparos menores e menos profundos.

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	2
2	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	2
2.1	CONCLUSÕES	2
2.2	RECOMENDAÇÕES	4
3	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL	4
3.1	LOCALIZAÇÃO	4
3.2	GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL	5
4	CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS E CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO ...	8
4.1	BARRAGEM DA MARGEM DIREITA	8
4.1.1	Barragem de Terra da Margem Direita	8
4.1.2	Barragem de Transição da Margem Direita	9
4.2	BARRAGEM DE CCR	13
4.3	MURO DE LIGAÇÃO	12
4.4	BARRAGEM DA MARGEM ESQUERDA	14
4.4.1	Barragem de Transição da Margem Esquerda	14
4.4.2	Barragem de Terra da Margem Esquerda	16
4.5	RESTITUIÇÃO	18
5	INSPEÇÃO DE CAMPO	19
5.1	BARRAMENTO – MARGEM DIREITA	19
5.1.1	Barragem de Terra da Margem Direita (Crista e Montante)	19
5.1.2	Barragem de Terra da Margem Direita (Jusante)	22
5.1.3	Barragem de Transição da Margem Direita	27
5.2	RESTITUIÇÃO	29
5.3	REGIÃO DE JUSANTE DO VERTEDOURO	33
5.4	JUSANTE DA BARRAGEM DE CRR	35
5.5	MURO DE LIGAÇÃO E GALERIA DE DRENAGEM	37
5.6	BARRAMENTO – MARGEM ESQUERDA	40
5.6.1	Barragem de Enrocamento da Margem Esquerda (Jusante)	40
5.6.2	Barragem de Enrocamento da Margem Esquerda (Montante e Crista)	47
5.6.3	Barragem de Terra da Margem Esquerda (Jusante)	50
5.7	ENTORNO DO PÁTIO DA CASA DE FORÇA	58
5.8	GALERIA DE DRENAGEM DA CASA DE FORÇA	61
6	REFERÊNCIAS	65
	ANEXOS	66
	ANEXO I – ART DO RESPONSÁVEL PELA REVISÃO GEOLÓGICA	66

1 APRESENTAÇÃO

Este relatório, têm como objetivo apresentar os resultados da inspeção de campo (Revisão Geológica) na UHE Caçu, com comentários sobre as observações de campo em relação à geologia da área, condições das estruturas e recomendações.

A UHE Caçu possui 65 MW de potência nominal instalada, sendo composta por um barramento misto de terra, enrocamento e concreto convencional compactado a rolo (CCR).

A visita de campo foi realizada nos dias 21 e 22 de julho pelo profissional Marcelo Bogo (Geólogo), acompanhado pelos representantes da Fractal Engenharia: Engenheira Civil Giorgia Cleto Moecke e Engenheiro Geotécnico André Ricardo Silva Fahel, e pelos representantes da Kinross: Clésio Lira, Sérgio Farias Lima e Johny Almeida.

Vale ressaltar que durante todo o período das inspeções na UHE Caçu todas as medidas de segurança de trabalho, meio ambiente e protocolos COVID-19 foram estritamente cumpridas com rigor, e não houve incidentes, e assim, os trabalhos foram concluídos com sucesso.

2 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados da inspeção geológica visual nas estruturas civis da barragem da UHE Caçu, são apresentadas as conclusões finais e recomendações técnicas sobre as condições de segurança global e local das estruturas.

2.1 CONCLUSÕES

De forma geral o barramento da UHE Caçu encontra-se em bom estado, sem anomalias ou situações de risco à estabilidade. Alguns pontos importantes a serem observados;

1. Na barragem de enrocamento da margem esquerda, na região do encontro com a barragem de CCR, foi possível observar um processo de desagregação dos blocos de rocha, um pouco mais avançado, em parte pela falta de um sistema de drenagem nesta região. Abatimentos que venham a ocorrer próximo à crista, causados por escoamento de água superficial, devem ser reparados. Conclui-se que para a região da crista/face jusante, este é o ponto de atenção mais importante, sublinhando-se a importância da instalação do sistema de drenagem (canaletas). A jusante da barragem, na região com surgência de água, recomenda-se manter o monitoramento com o registro periódico do comportamento da mesma (ação que já vem sendo executada pela equipe da Kinross).

2. Com relação à junta-falha, a falta de características geralmente atribuídas às estruturas do tipo, conforme definição de Nieble et al. (1974), como a presença de preenchimento argiloso ou extenso fraturamento sistemático, esta descontinuidade pode representar uma disjunção subhorizontal interna a um derrame. A descontinuidade presente no talude lateral direito, não apresenta sinais de instabilidade, surgências ou outras anomalias visíveis. Deve-se lembrar que, devido à estruturação predominantemente horizontal nos derrames, a permeabilidade segundo este eixo é muito maior do que a permeabilidade segundo o eixo vertical, a não ser em locais com disjunções colunares, o que não é o caso. A ausência de pontos de surgência, portanto, indica não haver infiltrações importantes ao longo deste plano. Considera-se ainda que a cortina de injeções do Projeto Executivo, que foi dimensionada considerando esta feição, e partindo-se do pressuposto que tenha sido corretamente executada, deve garantir a estanqueidade na região abaixo da fundação (FIGURA 6). O trabalho anterior de Kanji & Abraão (2018) atestam, ademais, a estabilidade da estrutura. Outro ponto importante a considerar é a instrumentação, que não aponta anomalias nas leituras. Além de um monitoramento visual, com observação do eventual aparecimento de pontos de surgência, o monitoramento através da instrumentação na galeria de drenagem torna-se importante para a detecção de leituras ou tendências anômalas. Importante ressaltar a continuidade de monitoramento e acompanhamento periódico da instrumentação e dos drenos com maior vazão, como o DR-112. Caso se observem tendências anômalas ou leituras que indiquem valores de atenção, uma investigação específica pode ser ponderada e planejada, na sequência à adoção de melhorias aqui sugeridas, como medida a favor da segurança.

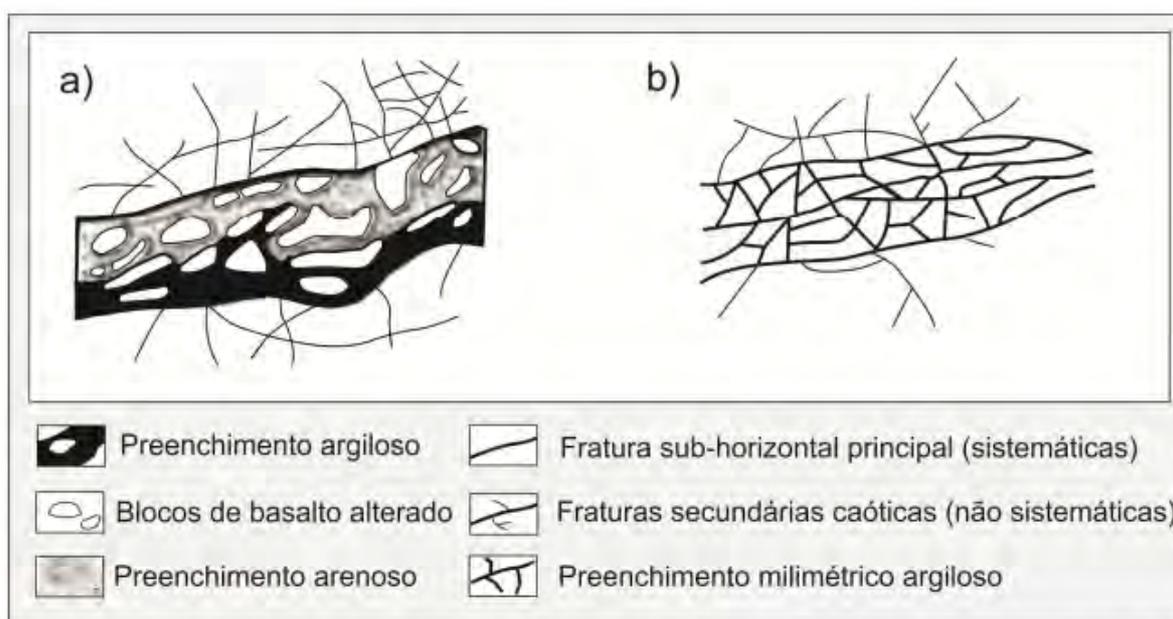


FIGURA 1. TIPOS DE JUNTA-FALHA (NIEBLE ET AL., 1974).

3. Nos taludes de pequena altura adjacentes à estrutura da Casa de Força, recomenda-se a limpeza de vegetação nas faces e na região da crista. A região da surgência, na parte superior do talude, deve da mesma forma ser limpa da vegetação, possibilitando futuras inspeções.

4. A limpeza das margens de segurança, remoção de cupinzeiros e da vegetação arbustiva vêm sendo executados pela equipe de manutenção. Recomenda-se a continuidade deste procedimento já que o aparecimento destes elementos é contínuo.

2.2 RECOMENDAÇÕES

Com relação ao observado nas atividades relacionadas à Inspeção Geológica da UHE Caçu, as recomendações de adequação e melhorias nas estruturas foram apresentadas tomando como base os prazos apresentados na Tabela 1. A “*data zero*”, faz referência ao dia 25/10/21, referente a emissão deste documento. Os prazos poderão ser revisados desde que devidamente acordados e aprovados, entre o empreendedor e a FRACTAL.

TABELA 1. RECOMENDAÇÕES PRINCIPAIS DA REVISÃO GEOLÓGICA.

Nº	LOCAL	RECOMENDAÇÕES	FOTOS	PRAZO
1	Casa de Força - Taludes	Recomenda-se a limpeza de vegetação na face e na região da crista dos cortes em rocha da CF.	FOTOS 68 e 69	6 meses
2	Barragem transição (MD)	Recomenda-se, na região do pé da barragem de transição onde há umidade e surgência, uma limpeza que permita inspeção visual.	FOTOS 70 e 71	6 meses
3	Ombreira (ME)	Recomenda-se a limpeza da vegetação e a retirada de árvores de médio porte na região próxima a rampa de concreto.	FOTO 52	6 meses
4	Barragem terra e transição (ME)	Recomenda-se a recomposição (solo + revestimento vegetal) nas regiões com perda de material granular, abatimentos e ravinamentos próximos a crista.	FOTOS 38, 42 e 43	6 meses

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL

3.1 LOCALIZAÇÃO

A UHE Caçu está localizada a aproximadamente 3 km a noroeste da Cidade de Caçu, Estado de Goiás. O acesso a região é feito a partir desta cidade através de estrada vicinal até o acesso a área do empreendimento.



FIGURA 2. LOCALIZAÇÃO DA UHE CAÇU. FONTE DA IMAGEM: GOOGLE EARTH, 2021.

3.2 GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

Na área predominam rochas do Cretáceo (~120 MA) pertencentes ao Grupo São Bento e Grupo Bauru (CPRM, 2008). A Formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento foi originalmente descrito por White (1908) como sendo constituído por derrames de basaltos tholeiíticos, com vulcânicas riolíticas e riodacíticas subordinadas. Os basaltos sustentam relevo plano, são maciços, cinza-escuros, finos, homogêneos, por vezes amigdalóides e com disjunções colunares. No topo está em contato com rochas sedimentares do Grupo Bauru por discordância erosiva. Em Goiás a espessura média desta unidade é da ordem de 100 m. A sedimentação no Grupo Bauru é marcada por arenitos, cuja deposição, em particular na porção setentrional, foi controlada por falhas regionais, com soerguimento da porção norte da bacia e reativação das estruturas marginais, quase sempre acompanhada de magmatismo alcalino. Em Goiás a unidade está representada pelas formações Vale do Rio do Peixe (base) e Marília (topo), sendo a primeira predominante na região da UHE Caçu.

A espessura Da Formação Rio do Peixe é variável, sendo que Pena et al. (1975) e Olivatti (1980) estimam que em Goiás situa-se entre 150 e 200 m. A formação é composta por estratos de arenitos cinza-claros, bege ou róseos, maciços, finos a muito finos, as vezes médios, em geral mal selecionados e com estratificação plano-paralela e cruzada subordinada. Os grãos de quartzo são subangulosos e subarredondados e podem estar cimentados por sílica e calcita.

Os arenitos basais são em geral mais maciços do que os do topo, mais estratificados. Aos arenitos se intercalam lentes de arenito conglomerático e siltitos areno-argilosos, de cor creme arroxeados e rosados. Bolas de argila ocorrem em toda seqüência, notadamente na porção superior, bem como orifícios tubiformes, nódulos e esfoliações esferoidais. O contato da Formação Rio do Peixe com a Formação Marília é gradacional e, na ausência dessa, está parcialmente coberta por depósitos terciários e quaternários. A Formação Marília ocorre na região sudoeste de Goiás de forma esparsa sobre a Formação Vale do Rio do Peixe. Suas melhores exposições situam-se nas proximidades de Itajá, Aparecida do Rio Doce, Cachoeira Alta e Rio Verde, onde em geral sustenta o topo de interflúvios. Consiste de arenitos vermelhos, finos a grossos, mal selecionados, cimentados por sílica amorfa, bem como de arenitos argilosos, siltitos e lamitos, em estratos com acamamento incipiente e poucas estratificações cruzadas. Apresenta níveis conglomeráticos com cimentação e concreções carbonáticas e lentes de silixito e brechas conglomeráticas de calcários.

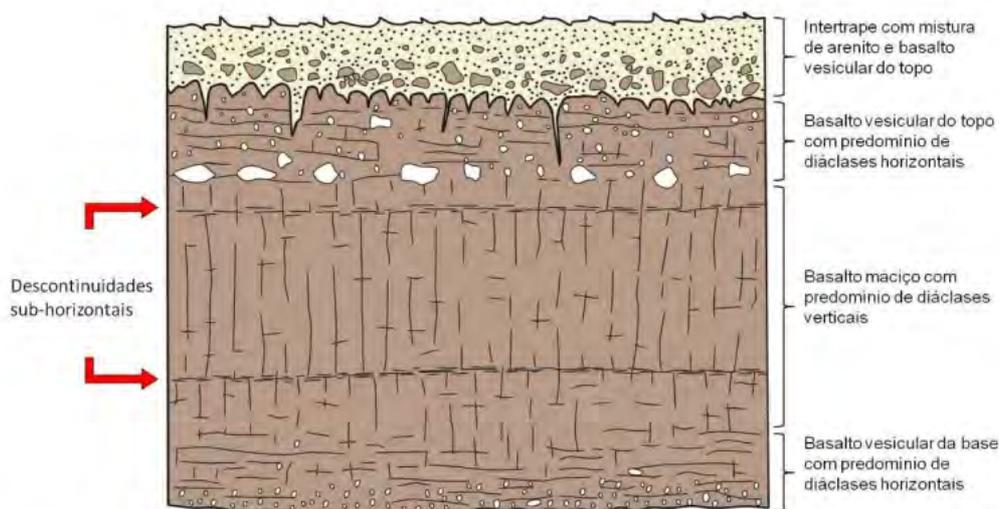
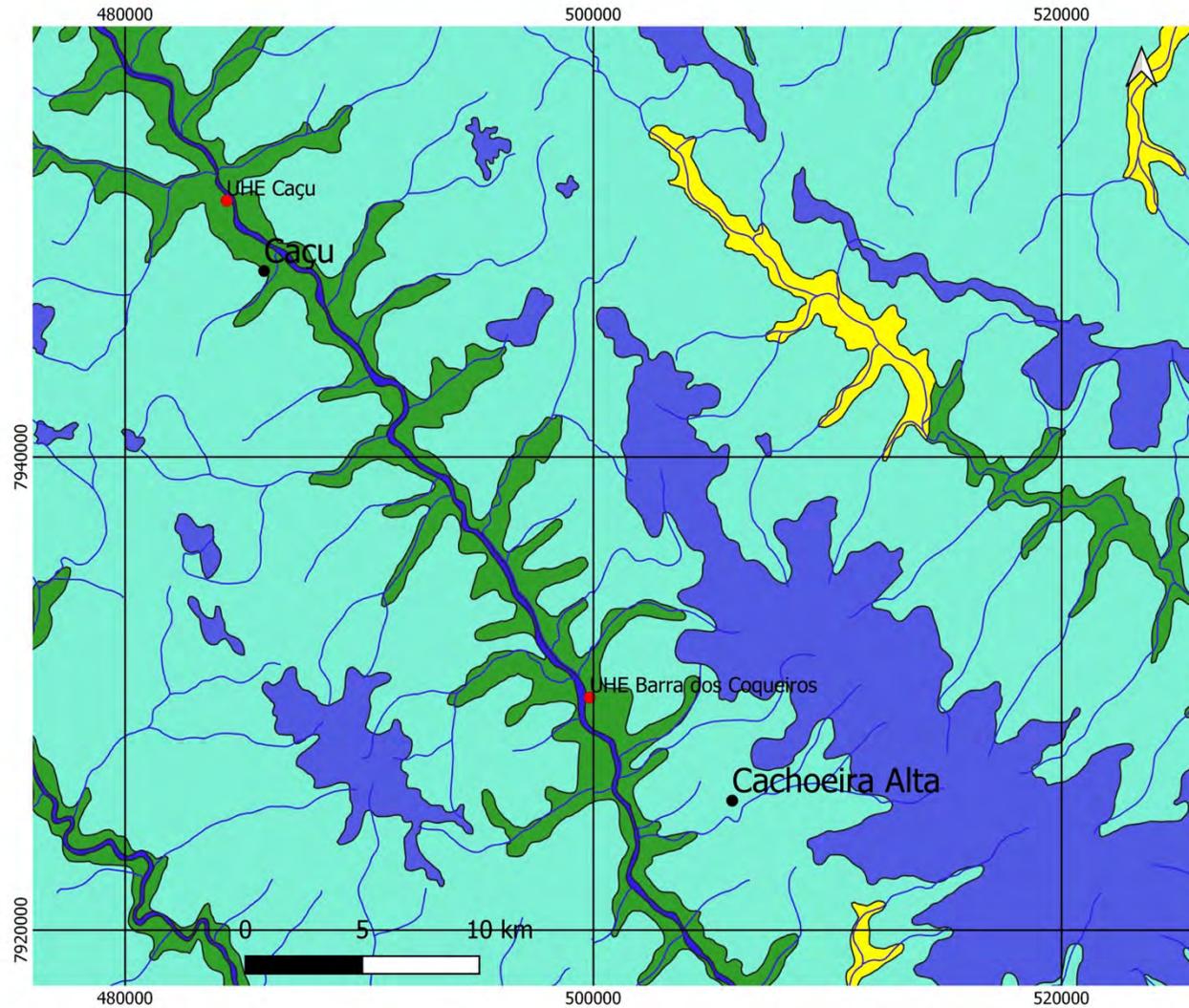


FIGURA 3. SEÇÃO ESQUEMÁTICA DE DERRAME BASÁLTICO. GUIDICINI & CAMPOS (1968). OBSERVAR AS DESCONTINUIDADES SUB-HORIZONTAIS INTERNAS AO DERRAME.

Em relação aos aspectos de comportamento dos litotipos para a fundação das estruturas, ressalta-se que os basaltos maciços (ou densos) apresentam permeabilidade secundária por diáclases (ou fraturas) subverticais. Os basaltos vesiculares e amigdaloidais apresentam permeabilidade secundária predominantemente horizontal, próximo aos contatos entre derrames e inter-derrames. O preenchimento das vesículas e amídalas comumente é constituído por quartzo/ametista, celadonita, clorofeita, esmectita e calcedônia, sendo o teor relativo dos argilominerais expansivos que determina padrões de alteração em rochas expostas ao intemperismo. As brechas basálticas são formadas por clastos de basalto vesicular, angulosos a subarredondados, comumente com presença de vênulas de calcita. Estes horizontes ocorrem em geral no contato entre derrames, podendo definir caminhos de percolação preferencial.



Mapa Geológico

LEGENDA

- UHEs Kinross
- LC_CIDADE

Unidades Litoestratigraficas

- Depositos aluvionares
- Formação Marília
- Formação Vale do Rio do Peixe
- Formação Serra Geral

FIGURA 4. EXTRATO DO MAPA GEOLÓGICO REGIONAL E ESTRATIGRAFIA DA REGIÃO DA UHE CAÇU. FONTE: CPRM/ GEOBANK.

4 CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS E CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO

4.1 BARRAGEM DA MARGEM DIREITA

4.1.1 Barragem de Terra da Margem Direita

A barragem de terra da margem direita tem 160 m de comprimento, com largura de 6 m na crista (cota 479m) e inclinação de 1V:1,50H a 1V:2H no paramento de montante e de 1V:1,50H a 1V:1,80H no paramento de jusante. O talude montante da barragem de terra da margem esquerda da UHE Caçu, segundo o projeto, apresenta duas bermas, sendo os taludes com inclinações de 1V:1,5H, partindo da crista até a cota 474,00m, e depois com uma inclinação de 1V:2H até o pé do barramento. Em contrapartida, o talude jusante, de acordo com o projeto, tem inclinações variáveis. Duas bermas com canaletas de drenagem em concreto aos pés dos taludes cobertos por vegetação apresentam inclinação de drenagem da ordem de 2%. Os primeiros 2 m, a partir da crista, a inclinação do talude é de 1V:1,5H, seguida pela inclinação de 1V:1,8H até a cota 468,80m, formando uma berma de 3 m de largura. Na sequência, tem-se inclinação de 1V:1,9H no talude, com berma de 3 m de largura na cota 456,80m. Abaixo desta cota, o talude prossegue com inclinação de 1V:1,9H até a superfície de fundação.

A sondagem SM-511 (Figura 3), executada durante o Projeto Básico Consolidado, indica que o maciço rochoso nesta região é um basalto vesicular-amigdaloidal de são a pouco alterado (A1/A2), coerente a muito coerente (C1/C2) e pouco a moderadamente fraturado (F1/F2) e poucas passagens muito fraturadas. Valores de condutividade, obtidos nos ensaios de perda d'água sob pressão, variam de muito baixos (H1) a baixos (H2) indicando permeabilidade secundária através de descontinuidades subhorizontais.

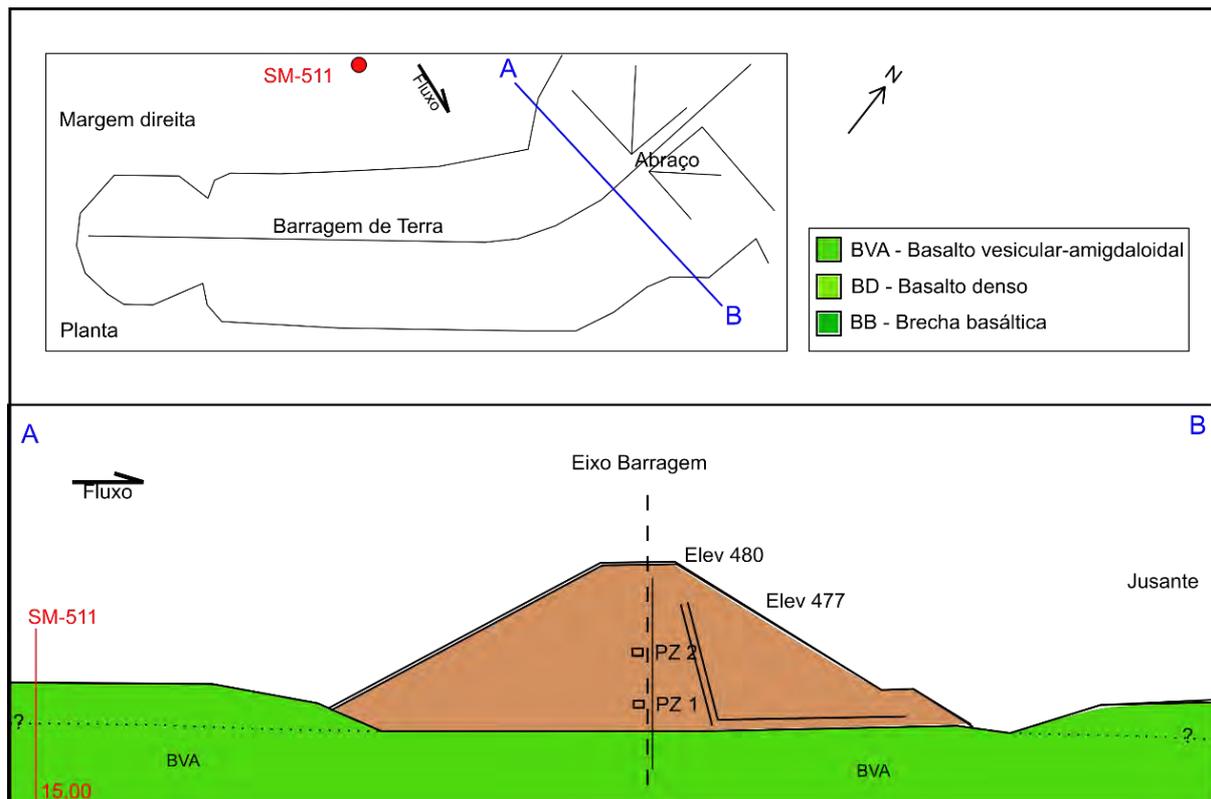


FIGURA 4. SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA DA REGIÃO DE FUNDAÇÃO DA BARRAGEM DE TERRA DA MARGEM DIREITA E SONDAGEM SM-511.

4.2 VERTEDOURO

O sistema extravasor é constituído por um Vertedouro do tipo superfície, com três vãos e com comportas de segmento. Com soleira na El.464,55 [manm], o vertedouro foi projetado para descarregar uma vazão máxima de 2.521 m³/s, sem causar sobrelevação do nível do reservatório. A sondagem SM-506 (Figura 5), executada durante o Projeto Básico Consolidado, na região a jusante entre a barragem de CCR e o vertedouro, indica que o maciço rochoso na região é uma alternância de basaltos vesiculo-amigdalodais são a pouco alterados (A1/A2), coerentes a pouco coerentes (C1/C3) com basaltos densos (AC1/C2 e A1/A2) e horizontes de brecha basáltica, moderadamente alterada (A2/A3), pouco a moderadamente coerente (C3/C2). O pacote em geral apresenta passagens muito a intensamente fraturadas (F4/F5). Valores de condutividade, obtidos nos ensaios de perda d'água sob pressão, variam de altos (H3) a muito altos (H4) provavelmente por permeabilidade secundária (através de fraturas ou zonas fraturadas) entre ou inter-derrames.

COTA (m)	PERFIL GEOLO. BIOD	ESTRATO GEOL. GEDT.	PROFUND. CAMADA (m)	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		INCL. DA FRA. TURA	RU. GOS. DADE	COE. REN. CIA	GRAU DE ALTE. RAÇÃO	FRATURAS POR TRECHO HOMOGÊNEO (fraturam/m)	GRAU DE FRA. TURA. MENTO	DIÂM. PER. FLURA. ÇÃO	PREEN. CHL. MENTO	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ROCHA I. Q. R. (%)	ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA				PERDA D'ÁGUA ESP. (mm/m ²)	N. A. (m)
					AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI											PRESSÃO EFETIVA (kgf/cm ²)		ABSORÇÃO (mm/m)			
					N.º DE GOLPES / 30 cm.											25	50	75	100		
445,04		BVA	0,75	Basalto vesiculado amigdaloidal, textura afanítica, cinza			SH1	S1	C2/C3	A2		F5									
			4,31				I	S2	C1	A1		F1									
			5,00				I	S2	C1/C2	A1/A2		F5									
440,04		BB		Brecha basáltica amigdaloidal, textura afanítica, cinza esverdeado			VSHSV	S1	C2/C3	A2/A3		F5									
							VSH	S2	C1			F3									
							VSH	S2	C1			F5									
435,04		BD		Basalto denso, textura afanítica, com veios de composição calcítica, cinza escuro			SHSV	S1		A1/A2		F5									
		BVA		Basalto vesiculado-amigdaloidal, textura afanítica, cinza e marrom			SH1	S2	C1/C2			F2									

FIGURA 5. FUNDAÇÃO DA REGIÃO DO VERTEDOURO. ACIMA, NO RETÂNGULO VERDE REGIÃO DA JUNTA-FALHA ONDE OBSERVA-SE INTENSO FRATURAMENTO.

A FIGURA 6 ilustra a seção geológica da região do vertedouro da UHE Caçu, obtida a partir de informações do Projeto Básico (desenho 600-CAC-DES-ISBC-0005) do Projeto Executivo (1027-US-3T-DE-0005) e da sondagem SR-506.

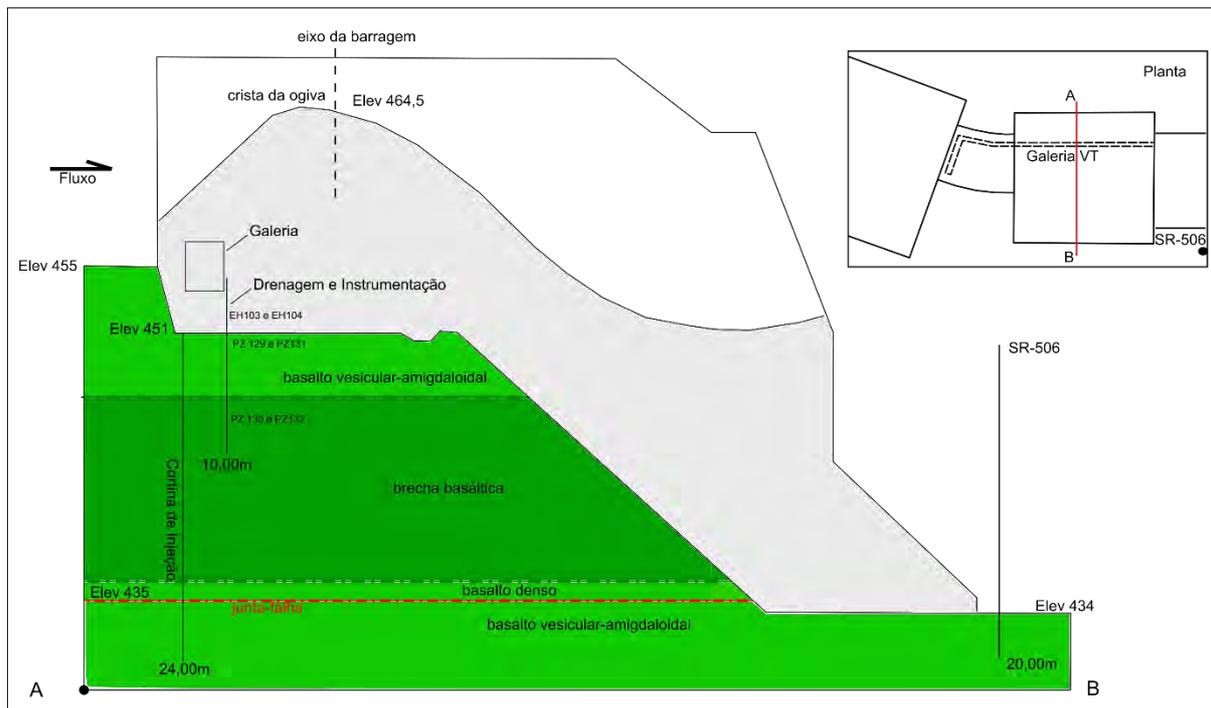


FIGURA 6. SEÇÃO GEOLÓGICA AO LONGO DO EIXO DO VERTEDOURO. OBSERVAR QUE A CORTINA DE INJEÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO ULTRAPASSA A FEIÇÃO DENOMINADA JUNTA-FALHA. APESAR DO ALTO FRATURAMENTO NO HORIZONTE DE BRECHA BASÁLTICA, OS DEMAIS PARÂMETROS DE ALTERAÇÃO E COESÃO CONFEREM AO MACIÇO BOAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÂNICAS.

4.3 MURO DE LIGAÇÃO

O muro de ligação entre a Casa de Força e o Vertedouro, em concreto, por onde se acessa a Galeria de drenagem, apresenta sua fundação próximo à cota 456 m, o que implica em maior profundidade da ocorrência da feição denominada “junta-falha”.

A FIGURA 6 ilustra a seção geológica da região do muro de ligação da UHE Caçu, obtida a partir de informações do Projeto Executivo (1027-BP-3F-DE-0092, 1027-US-3T-DE-0005 e 1027-BP-3F-DE-0090).

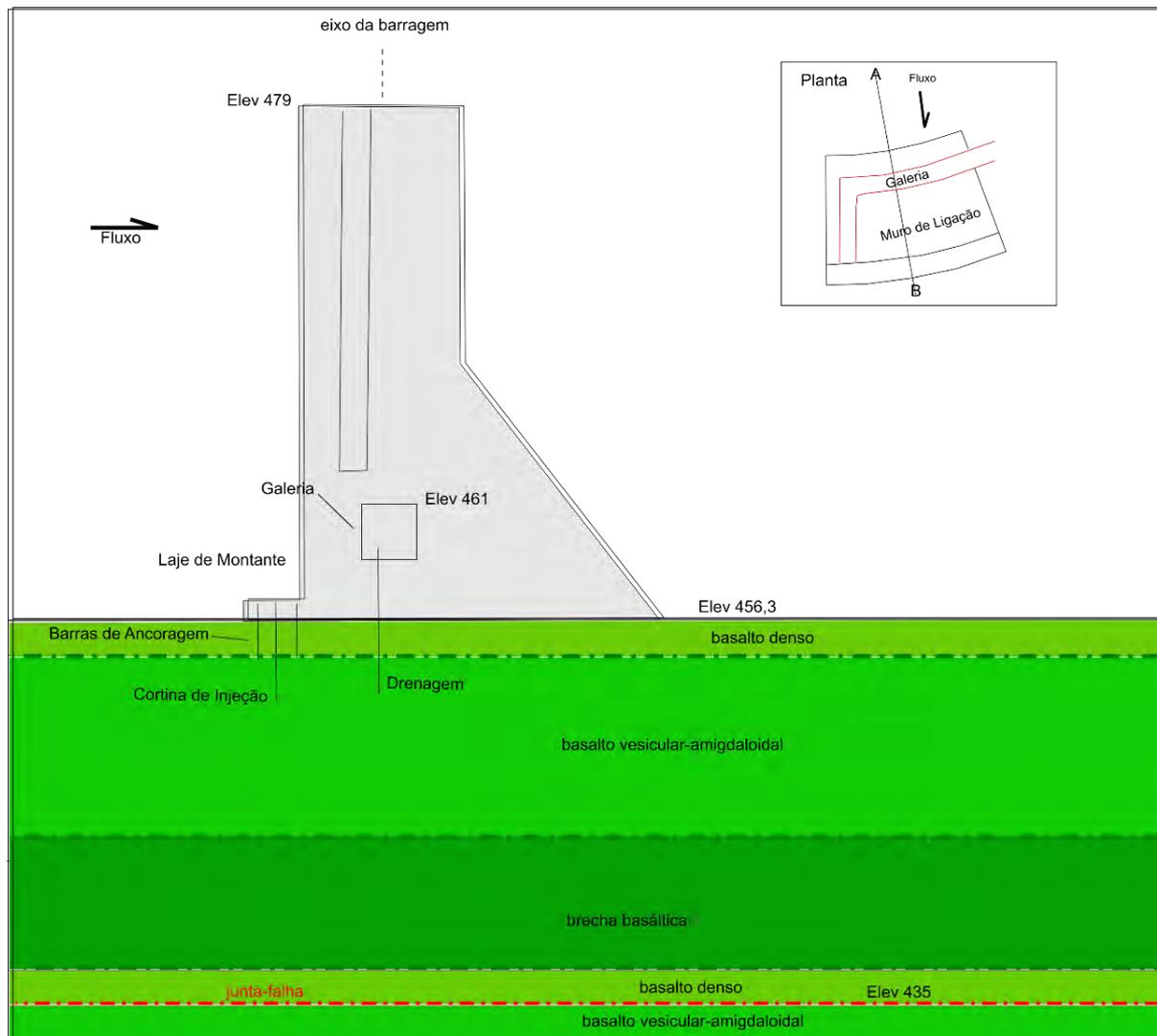


FIGURA 7- SEÇÃO GEOLÓGICA TRANSVERSAL NA REGIÃO DO MURO DE LIGAÇÃO. OBSERVA-SE QUE NESTA ESTRUTURA, A JUNTA FALHA OCORRE EM MAIOR PROFUNDIDADE (EM RELAÇÃO AO VERTEDOURO).

4.4 BARRAGEM DE CCR

A barragem de CCR na margem esquerda, tem 130 m de comprimento, com largura de 7 m na crista (cota 479 m), inclinação de 1V:0,75H no paramento de jusante e parede vertical no paramento de montante. Conta com Galeria de drenagem, localizada a 1,7m da face montante e, aproximadamente, 5m acima da fundação.

A sondagem SM-505 (Figura 8), executada durante o Projeto Básico Consolidado entre esta estrutura e o abraço, indica que o maciço rochoso nesta região é um basalto vesicular-amigdaloidal com passagens de brecha basáltica, pouco alterado (A2) com trechos de A4, coerente (C2) com trechos de C4 e moderadamente a muito fraturado (F2/F4) e poucas passagens muito fraturadas (F5). Valores de condutividade, obtidos nos ensaios de perda d'água sob pressão apresentam em geral valores muito altos (H4) com trechos de H5.

COTA (m)	PERFIL GEOLOGICO	ESTRATO GEOLOGICO	PROFUN. CAMADA (m)	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		INCL. DA FRA- TURA	RU- GOSL- DADE	COE- REN- CIA	GRAU DE ALTE- RAÇÃO	FRATURAS POR TRECHO HOMOGÊNEO (fraturas/m) 5 10 15	GRAU DE FRA- TURA- LMENTO	DIAM. PER- FURA- ÇÃO	PREEN- CHIMEN- TO	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ROCHA I. Q. R. (%) 25 50 75	ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA				PERDA D'ÁGUA ESP. Instit kg/cm ² (m)	N. A.		
					AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI N.º DE GOLPES / 30 cm.											PRESSÃO EFETIVA kg/cm ²	ABSORÇÃO (l/min/m)						
																	0,1	1	10			100	
450,36			3,50	Basalto vesiculo amigdaloidal, com textura fanerítica, com porções de brecha basáltica, cinza esverdeado			I		C2	A2			F3				Ens. 1 - 0,50 a 3,50m						
																		0,37367	H5	36,5742			
																		0,29320	H5	54,4566			
																		0,68534	H5	27,1398			
																		0,48870	H5	28,9203			
																		0,38840	H5	14,5898			
																			Ens. 2 - 3,50 a 6,50m				
																		0,35939	H5	2,2430			
																		0,74640	H5	97,1490			
																		1,22880	H5	3,5905			
																	0,76942	H5	13,1268				
																	0,35504	H5	14,5156				
																		Ens. 3 - 6,50 a 9,50m					
																	0,46397	H4	7,9747				
																	1,20587	H4	5,3074				
																	1,90900	H4	8,5909				
																	1,20788	H4	4,9122				
																	0,47000	H4	6,3830				
																		Ens. 4 - 9,50 a 12,50m					
																	0,33140	H4	7,9747				
																	0,90640	H4	5,3074				
																	1,60970	H4	8,5909				
																	1,16140	H4	4,9122				
																	0,3880	H4	6,3830				
																		Ens. 5 - 12,50 a 15,50m					
																	0,48800	H3	4,8497				
																	1,87960	H3	4,2030				
																	2,64850	H4	9,0743				
																	1,87960	H3	3,7419				
																	0,48800	H3	3,7568				
																		Ens. 6 - 15,50 a 18,50m					
																	0,41700	H4	6,1551				
																	2,11290	H3	2,7450				
																	3,47540	H3	3,2131				
																	2,12197	H3	2,5292				
																						3,77	

FIGURA 8. LOG DE SONDAÇÃO DA SM-505, COM COTA APROXIMADA (TRACEJADO VERMELHO) DA REGIÃO DE FUNDAÇÃO DA BARRAGEM CCR.

4.5 BARRAGEM DA MARGEM ESQUERDA

4.5.1 Barragem de Transição da Margem Esquerda

A barragem de transição (ME), em enrocamento com núcleo central de solo argiloso compactado, tem 585 m de comprimento, com largura de 6 m na crista (cota 479 m) e inclinação de 1V:1,4H no paramento de montante e com inclinação de 1V:1,4H no paramento de jusante. Conta com canaletas de drenagem em concreto aos pés dos taludes (inclinação 2%). A sondagem SM-503 (Figura 9), executada durante o Projeto Básico Consolidado – entre esta estrutura e a barragem de terra da ME, indica que o maciço rochoso nesta região é um basalto vesicular-amigdaloidal moderadamente alterado a pouco alterado (A2/A3), coerente a moderadamente coerente (C2/C3) e moderadamente a muito fraturado (F4/F5). Valores de condutividade, obtidos nos ensaios de perda d'água sob pressão, variam de moderados (H3) a muito altos (H5).

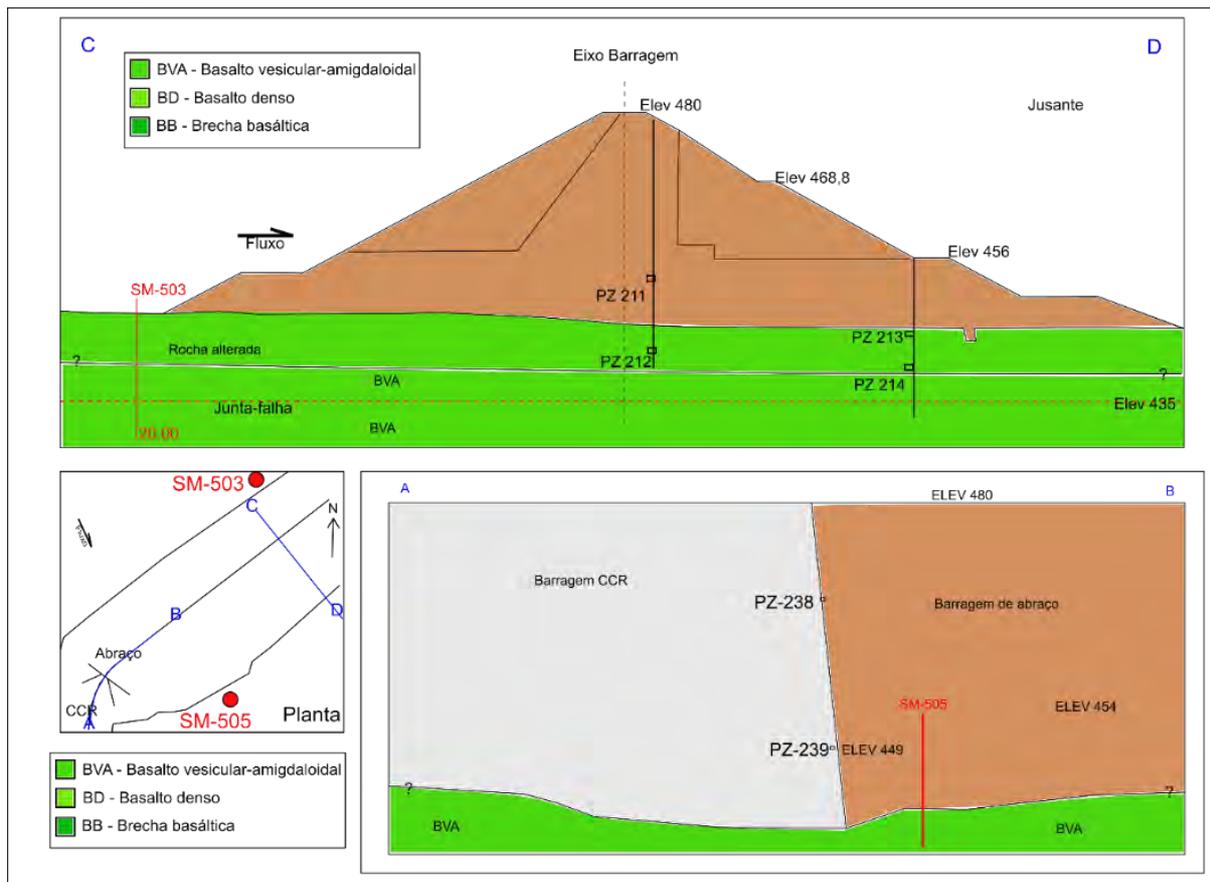


FIGURA 10. SEÇÃO GEOLÓGICA NA REGIÃO DA BARRAGEM DE TRANSIÇÃO E DA BARRAGEM CCR.

4.5.2 Barragem de Terra da Margem Esquerda

A barragem de terra da margem esquerda tem 585 m de comprimento, com largura de 6 m na crista (cota 479m) e inclinação de 1V:1,50H a 1V:1,90H no paramento de jusante e de 1V:1,50H a 1V:2H no paramento de montante. O talude jusante conta com inclinações variáveis, sendo compostas por bermas e canaletas de drenagem na base dos taludes. Desta forma, nos primeiros 2 m, a partir de sua crista, a inclinação do talude é de 1V:1,5H, seguida pela inclinação de 1V:1,8H até a El. 468,80m. Nesta cota situa-se uma berma de 3 m de largura. Na sequência, tem-se inclinação de 1V:1,9H no talude, com berma de 3 m de largura na El. 456,80m. Abaixo desta cota, o talude prossegue com inclinação de 1V:1,9H até a superfície de fundação. Em todas as bermas, aos pés de cada talude, encontram-se dispostas canaletas de concreto com inclinação de 2%, de meia cana de concreto simples, conduzindo o escoamento superficial longitudinalmente até caixas coletoras posicionadas, aproximadamente, a cada 200 m de extensão.

A sondagem SR-504 (Figura 11), executada durante o Projeto Básico Consolidado, indica que o maciço rochoso na região de fundação do barramento é um basalto vesicular-amigdaloidal muito alterado a pouco alterado (A4/A2), coerente a moderadamente coerente (C2/C3), passagens incoerentes (C4) e muito fraturado (F5).

4.6 RESTITUIÇÃO

Fazem parte desta estrutura um canal de fuga para a restituição da vazão turbinada. A restituição da vazão turbinada se dá em canal escavado em solo e rocha com 30 m de largura. A sondagem SM-507 (Figura 13), executada durante o Projeto Básico Consolidado, a jusante desta estrutura, indica que o maciço rochoso na região é um basalto vesicular-amigdaloidal, moderadamente a muito alterado (A2/A4), moderadamente a pouco coerente (C4/C3) e medianamente a muito fraturado (F2/F3) com passagens intensamente fraturadas (F5), com alternância de brechas basálticas moderadamente coerentes (C2/C3), moderadamente alteradas (A2/A3) com passagens intensamente fraturadas. Valores de condutividade, obtidos nos ensaios de perda d'água sob pressão, variam de altos (H3) a muito altos (H5).

CÓTI (m)	PERFIL GEOLO- GICO	ESTRAT- GEOLOJ GEOI	PROFUN- CAMADA (m)	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		INCL- DA FRA- TURA	RU- GOSL- DADE	COE- RÊN- CIA	GRAU DE ALTERA- ÇÃO	FRATURAS POR TRENCHO HOMOGÊNEO (fraturas/m)	GRAU DE FRA- TURA- MENTO	QUANT- PER- FURA- ÇÃO	PREEN- CHI- MENTO	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ROCHA (I. Q. R. (%))	ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA		PERDA D'ÁGUA ESP. [mm/m] [g/cm ²]	N. A. (m)		
					AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI											PRESSÃO				ABSORÇÃO	
					N.º DE GOLPES / 30 cm											EFETIVA [kg/cm ²]	1			10	100
449,95		CDL	0,50 1,00 1,50 2,00	Argila siltosa, com areia fina, marrom avermelhado																	
444,95		SAAR		Site argiloso, com areia fina, marrom avermelhado																	
439,95		BVA	11,21 11,89 13,50 14,00 14,20	Basalto vesículo-amigdaloidal, marrom					C3/C4	A2/A4		F5					Ens. 1 – 10,60 a 14,10m	0,64107 H4 5,3646 1,79150 H3 5,0875 2,90025 H3 4,5513 1,80530 H3 4,4630 0,67110 H4 5,1089			
434,95		BB	15,83 17,20	Brecha basáltica, com amígdalas, verde													Ens. 2 – 14,20 a 17,20m	0,63200 H4 9,0717 2,40690 H3 4,2240 4,10650 H3 3,9612 2,48200 H3 2,1891 0,68200 H3 4,3888			
																	Ens. 3 – 17,20 a 20,20m	0,23700 H5 7,3685			

FIGURA 13. LOG DE SONDAÇÃO DA SM-507, A JUSANTE DA REGIÃO DA RESTITUIÇÃO.

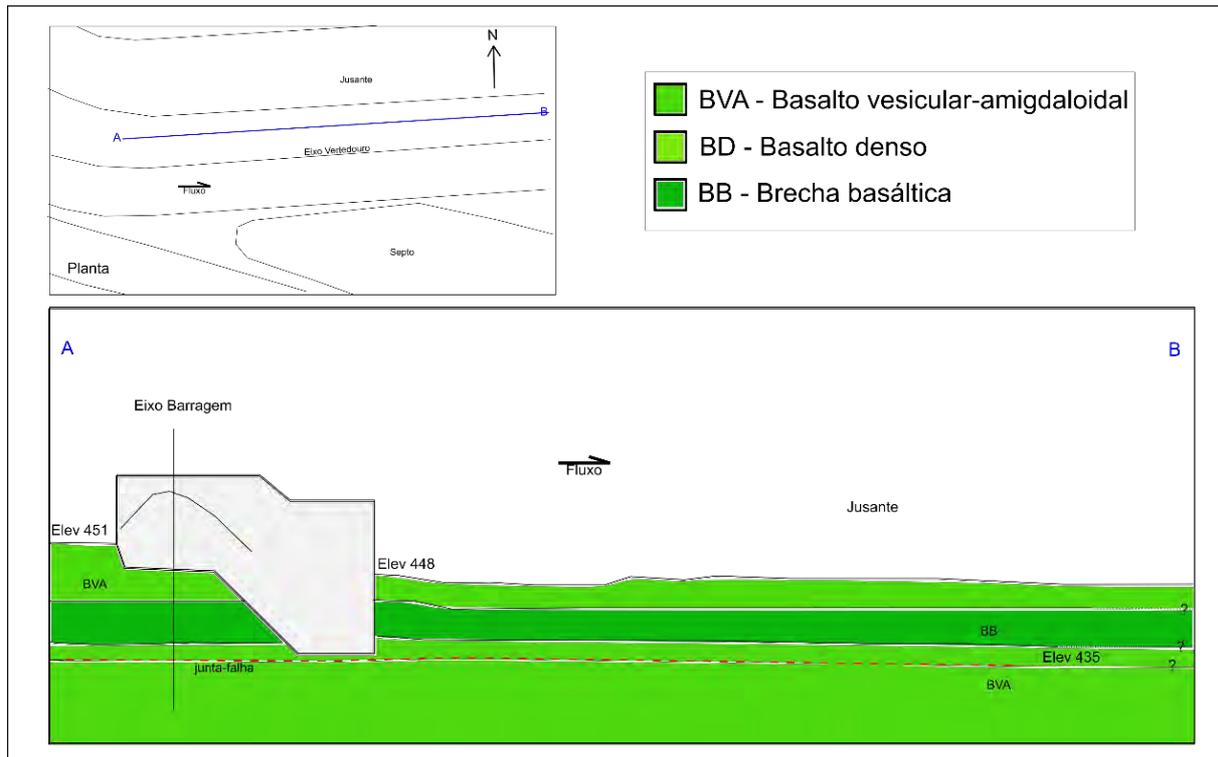


FIGURA 14. SEÇÃO GEOLÓGICA DO CANAL DE RESTITUIÇÃO.

5 INSPEÇÃO DE CAMPO

Na data da inspeção de campo a Usina registrava um nível de montante de 476,98 m e um nível de jusante de 448,65 m, clima frio e seco. A informação de campo é que, nesta data, a instrumentação apresentava leituras em níveis normais, sem indicação de situação anômala.

5.1 BARRAMENTO – MARGEM DIREITA

5.1.1 Barragem de Terra da Margem Direita (Crista e Montante)

Durante a inspeção, observou-se que a região da crista e do talude montante se encontra em excelentes condições. Não se observam trincas ou depressões no pavimento da crista. A drenagem e escoamento das águas superficiais é facilitada por canaletas transversais, ou descidas d'água, distribuídas na face montante. O enrocamento, constituído de blocos das rochas “basalto denso”, “basalto vesicular-amigdaloidal” e “brecha basáltica” encontra-se em boas condições, com poucas regiões de maior desagregação, principalmente onde há concentração de brecha basáltica e basalto vesiculo-amigdaloidal.

Os argilominerais responsáveis pela desagregação, esmectitas e celadonitas, estão presentes nas amígdalas ou como produto de alteração de minerais primários, tendo propriedades expansivas, o que induz a desagregação quando expostas à ciclagem natural.

Os pontos com “manchas” ou maior concentração de blocos com estas características podem ser mapeados e monitorados visualmente para registro de sua evolução. Na região da ombreira, não se observam anomalias.



FOTO 1. BARRAGEM MARGEM DIREITA MONTANTE.



FOTO 2. REGIÃO DA OMBREIRA NA MARGEM DIREITA VISTA MONTANTE.



FOTO 3. CRISTA E ENROCAMENTO NA MARGEM DIREITA, FACE MONTANTE. OBSERVA-SE AS CANALETAS RECÉM CONSTRUIDAS.



FOTO 4. CRISTA DA BARRAGEM. PAVIMENTO SEM TRINCAS.



FOTO 5. DETALHE DA DESCIDA D'ÁGUA EM CONCRETO.

5.1.2 Barragem de Terra da Margem Direita (Jusante)

A barragem de terra da margem direita apresenta-se, na região da ombreira, limpa e sem anomalias. Os dispositivos de drenagem, canaletas e escadas hidráulicas, encontram-se em boas condições. Locais com pequenos ravinamentos e com início de processos erosivos estão sendo tratados com biomantas. Fomos informados em campo sobre a implementação do projeto de recuperação do revestimento vegetal, já que atualmente observa-se capim irregularmente distribuído. Os poucos cupinzeiros e buracos de animais observados, estão sendo eliminados pela equipe de manutenção, que precisa manter uma atenção constante no combate a estes elementos. A instrumentação encontra-se em bom estado. Alguns poucos pontos necessitam atenção, como a base em concreto de alguns instrumentos, com sinais de erosão leve, pontos que devem ser recuperados.



FOTO 6. CANALETA DE DRENAGEM NA FACE JUSANTE, MARGEM DIREITA.



FOTO 7. FACE DO TALUDE MONTANTE PRÓXIMO A OMBREIRA.



FOTO 8. INICIO DA CANALETA DE DRENAGEM NA MARGEM DIREITA, AO FUNDO A REGIÃO DA OMBREIRA MD.



FOTO 9. TRATAMENTO E RECUPERAÇÃO DA FACE DO TALUDE COM BIOMANTA.



FOTO 10. LOCAL ONDE FOI INSTALADA A BIOMANTA.



FOTO 11. EROSIÃO NA BASE DO PIEZÔMETRO PZ-06.



FOTO 12. MARCOS DE REFERÊNCIA E PIEZÔMETROS.



FOTO 13. REGIÃO DE TRANSIÇÃO ENTRE BARRAGEM DE TERRA E O ENROCAMENTO.

5.1.3 Barragem de Transição da Margem Direita

A barragem de transição em enrocamento com núcleo de argila, apresenta blocos das rochas “basalto denso”, “basalto vesicular-amigdaloidal” e “brecha basáltica”. Algumas manchas com maior grau de desagregação são observadas, no entanto, no geral o enrocamento está em boas condições, já que estes processos são pontuais, para os quais pode ser feito monitoramento visual. Canaletas e descidas d’água em boas condições. O medidor de vazão ao pé do enrocamento, igualmente, encontra-se em boas condições, com monitoramento periódico. Região de contato entre enrocamento e estrutura de concreto sem anomalias visíveis. Presença de poucos pontos com vegetação arbustiva, para a qual recomenda-se a remoção.



FOTO 14. PÉ DA BARRAGEM DE TRANSIÇÃO E CANALETA DE DRENAGEM. AO FUNDO A CAIXA DE COLETA DE DRENAGEM DO ENROCAMENTO DO ABRAÇO, E O MEDIDOR DE VAZÃO.



FOTO 15. DETALHE DO ENROCAMENTO NO ENCONTRO COM A BARRAGEM DE CCR.



FOTO 16. DETALHE DA REGIÃO ENTRE A BARRAGEM DE TRANSIÇÃO E A BARRAGEM DE CCR.



FOTO 17. MEDIDOR DE VAZÃO MV-03 EM BOM ESTADO.

5.2 RESTITUIÇÃO

Faz parte desta estrutura um canal escavado em rocha. A margem direita apresenta taludes verticais, estáveis. A margem esquerda (septo) apresenta taludes mais baixos, com alguns pontos de ravinamento e processos erosivos, mas que não comprometem a estrutura, podendo ser feito monitoramento visual e registro fotográfico periódico.



FOTO 18. CANAL DE RESTITUIÇÃO.



FOTO 19. MARGEM ESQUERDA DO CANAL DE RESTITUIÇÃO. VISTA DO SEPTO.



FOTO 20. MARGEM DIREITA DO CANAL DE RESTITUIÇÃO. VEGETAÇÃO ARBOREA DEVE SER REMOVIDA.



FOTO 21. DETALHE DOS RAVINAMENTOS NA MARGEM ESQUERDA.



FOTO 22. VISTA PARA JUSANTE, EM DIREÇÃO À MARGEM ESQUERDA.



FOTO 23. DETALHE DO TALUDE EM ROCHA NA MARGEM DIREITA.

5.3 REGIÃO DE JUSANTE DO VERTEDOURO

A região à jusante do vertedouro é caracterizada por um canal escavado em rocha, paralelo ao canal de restituição, sendo os mesmos separados por um septo. Nesta região expressou-se uma preocupação com a denominada junta-falha, visível nos taludes da margem direita do canal. Na porção mediana do talude observa-se a descontinuidade sub-horizontal, levemente ondulada e aparentemente fechada, já que não se observam, à distância, pontos com surgência de água ou presença de camada com minerais argilosos. Observam-se locais propícios a queda de pequenos blocos, no entanto não se observam anomalias ou sinais de instabilização dos taludes.



FOTO 24. REGIÃO A JUSANTE DO VERTEDOURO.



FOTO 25. MARGEM DIREITA. AO FUNDO O CANAL DE RESTITUIÇÃO.



FOTO 26. DETALHE DA FOTO ANTERIOR, COM O TRAÇADO APROXIMADO DA JUNTA-FALHA. NÃO SE OBSERVAM NO TALUDE SINAIS DE INSTABILIDADE OU SURGÊNCIAS DE ÁGUA.



FOTO 27. REGIÃO DA JUNTA-FALHA, VISTA FRONTAL.

5.4 JUSANTE DA BARRAGEM DE CRR

Nesta região não se observam anomalias. As estruturas estão com limpeza adequadas e em bom estado geral. O afloramento rochoso remanescente, ao pé da estrutura não apresenta alterações.



FOTO 28. REGIÃO JUSANTE DA BARRAGEM DE CCR.



FOTO 29. DETALHE DO PEQUENO REMANESCENTE ROCHOSO JUNTO À ESTRUTURA, SEM ANOMALIAS.

5.5 MURO DE LIGAÇÃO E GALERIA DE DRENAGEM

Fazem parte desta estrutura o muro de ligação, em cuja base, se acessa a galeria de drenagem do muro/vertedouro. Na parte externa, as caixas coletoras de drenagem estão em bom estado, assim como o medidor de vazão, de chapa triangular. A galeria de drenagem encontra-se bem sinalizada, limpa e com instrumentação identificada. Observam-se poucos pontos de carbonatação. Os instrumentos, piezômetros, medidores triortogonais e extensômetros encontram-se em bom estado e sendo monitorados. Não foram reportadas anomalias. A equipe de campo informou que as leituras dos instrumentos e medidores de vazão encontram-se estáveis, sendo os drenos DR-111 e DR-112 os de maior vazão. Nos drenos não foi observado carreamento de material.



FOTO 30. BASE DO MURO DE LIGAÇÃO, A JUSANTE.

**FOTO 31. ENTRADA PARA GALERIA DE DRENAGEM.****FOTO 32. MEDIDOR TRIANGULAR DE VAZÃO MV-114.**

**FOTO 33. DETALHE DA CAIXA COLETORA.****FOTO 34. INSTRUMENTAÇÃO COM PIEZÔMETROS E EXTENSÔMETROS DE HASTE.**



FOTO 35. ASPECTO DA GALERIA DE DRENAGEM.

5.6 BARRAMENTO – MARGEM ESQUERDA

5.6.1 Barragem de Enrocamento da Margem Esquerda (Jusante)

A barragem de enrocamento (ME) adjacente a barragem de CCR, apresenta as bermas bem definidas, com enrocamento em bom estado. Manchas localizadas de enrocamento desagregado, associadas a basaltos vesicular-amigdaloidal e brechas, ocorrem pontualmente, sem, no entanto, comprometer a estrutura. Na região do encontro com a estrutura de concreto da barragem de CCR, ocorre desagregação um pouco mais pronunciada, com sinais de escoamento de águas pluviais e perda de material granular. Esta região, apesar de não apresentar no presente momento situação de risco a estabilidade, necessita monitoramento visual para detecção de sua evolução e registro de ocorrência de quaisquer anormalidades. Em direção à margem esquerda, nos taludes há sinais de erosão em trecho originalmente em solo. Parte deste solo está sendo mobilizado para o enrocamento de jusante. Neste local, de acordo com informação de campo, será feita recomposição durante a recuperação do revestimento vegetal. Nos taludes de enrocamento foram observados poucos pontos com vegetação arbustiva. Na base do talude observa-se região com diferenças no diâmetro entre blocos, sem implicações em termos de estabilidade global.



FOTO 36. BARRAGEM DA MARGEM ESQUERDA. VISTA GERAL.



FOTO 37. VISÃO PANORÂMICA DA BARRAGEM NA MARGEM ESQUERDA.



FOTO 38. REGIÃO DA TRANSIÇÃO ENTRE O ENROCAMENTO E A BARRAGEM DE CCR. NO DESTAQUE REGIÃO COM PERDA DE MATERIAL GRANULAR.



FOTO 39. JUSANTE DA BARRAGEM DE ENROCAMENTO. REGIÃO COM DESAGREGAÇÃO.



FOTO 40. REGIÃO COM DEPRESSÕES PRÓXIMO À CRISTA DA BARRAGEM DE ENROCAMENTO, FACE JUSANTE.



FOTO 41. SULCO EROSIVO EM REGIÃO COM SOLO, PRÓXIMO A CRISTA.



FOTO 42. VISTA DA REGIÃO COM DEPRESSÕES (FORMADAS PELA DESAGREGAÇÃO DO MATERIAL) E SULCOS EROSIVOS.



FOTO 43. DETALHE DA FOTO ANTERIOR.



FOTO 44. DIFERENÇA DE DIÂMETRO MÉDIO NO ENROCAMENTO DE PÉ E PRESENÇA DE ARBUSTOS.



FOTO 45. DETALHE DO ENROCAMENTO, COM VEGETAÇÃO ARBUSTIVA.



FOTO 46. REGIÃO A JUSANTE DA BARRAGEM DE CCR.



FOTO 47. DETALHE DA REGIÃO DE TRANSIÇÃO ENTRE A BARRAGEM CCR E O ENROCAMENTO, COM SINAIS DE ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS E DESAGREGAÇÃO DO ENROCAMENTO.

5.6.2 Barragem de Enrocamento da Margem Esquerda (Montante e Crista)

A barragem de enrocamento na margem esquerda, apresenta crista e talude de montante em bom estado geral. Não se observam trincas no pavimento. Poucos pontos isolados com blocos desagregados e arbustos. Canaletas de descida d'água estão sendo implantadas, melhorando o escoamento de águas superficiais. Na região das ombreiras não se observam anormalidades, no entanto recomenda-se a retirada de vegetação (árvores).



FOTO 48. FACE MONTANTE.



FOTO 49. ARBUSTO EM MEIO AO ENROCAMENTO.



FOTO 50. DESCIDA D'ÁGUA RECÉM CONSTRUIDA NA FACE MONTANTE.



FOTO 51. CRISTA E ENROCAMENTO NA FACE MONTANTE.



FOTO 52. REGIÃO DA OMBREIRA ESQUERDA. ÁRVORES PRÓXIMAS A RAMPA.

5.6.3 Barragem de Terra da Margem Esquerda (Jusante)

A barragem de terra da margem esquerda apresenta-se em bom estado geral. Canaletas de drenagem com poucos pontos com trincas, que exigem reparos. Taludes com geometria sem anormalidades. O revestimento atual é de capim, irregular, com poucos pontos de ravinamentos. Alguns pontos estão com tratamento com biomantas e com placas de grama. A informação de campo é que está sendo implantado um projeto de recomposição do revestimento. Os medidores de vazão e marcos superficiais estão em bom estado. Na região de transição com o enrocamento, observa-se uma provável linha de escoamento de água superficial, abaixo do enrocamento, e que deve ser monitorada. O enrocamento de pé apresenta-se em bom estado, com poucos arbustos. Na margem jusante observou-se um ponto com surgência de água, clara, sem carreamento de argila. Necessita manter o monitoramento periódico que já vem sendo realizado pela equipe da Kinross.



FOTO 53. INICIO DA CANALETA DE DRENAGEM, REGIÃO DA OMBREIRA AO FUNDO.



FOTO 54. REGIÃO EM RECUPERAÇÃO COM BIOMANTA.



FOTO 55. INICIO DA CANALETA, VISTA PARA JUSANTE.



FOTO 56. ÁREA EM RECUPERAÇÃO COM PLACAS DE GRAMA.



FOTO 57. TRINCAS NA CANALETA.



FOTO 58. TRINCAS NA CANALETA.



FOTO 59. REGIÃO DE TRANSIÇÃO ENTRE O ENROCAMENTO E A BARRAGEM DE TERRA COM INÍCIO DE RAVINAMENTO.



FOTO 60. REGIÃO COM PASSAGEM DE ÁGUA ABAIXO DO ENROCAMENTO.



FOTO 61. ESCADA HIDRÁULICA.



FOTO 62. REGIÃO DO MEDIDOR DE VAZÃO.



FOTO 63. CANALETA DE DRENAGEM.



FOTO 64. CANALETA DE DRENAGEM. VISTA PARA JUSANTE.



FOTO 65. ARBUSTOS EM MEIO AO ENROCAMENTO.



FOTO 66. MARGENS A JUSANTE DA BARRAGEM.



FOTO 67. REGIÃO COM SURGÊNCIA DE ÁGUA. NÃO SE OBSERVA CARREAMENTO DE MATERIAL.

5.7 ENTORNO DO PÁTIO DA CASA DE FORÇA

Os taludes no entorno da Casa de Força são verticais, de altura aproximada de 5 -6 m. Não se observam sinais de instabilidade global. Ocorre a queda de pequenos blocos e fragmentos. Recomenda-se para esta área, a sinalização e retirada de vegetação das paredes e crista. Acima da crista, observa-se uma área com surgência de água, que percola pelas fraturas do maciço. Recomenda-se limpeza da vegetação para monitoramento.





FOTO 69. VEGETAÇÃO NA CRISTA DO TALUDE.



FOTO 70. VISTA DAS CANALETAS E DA ÁREA ÚMIDA.

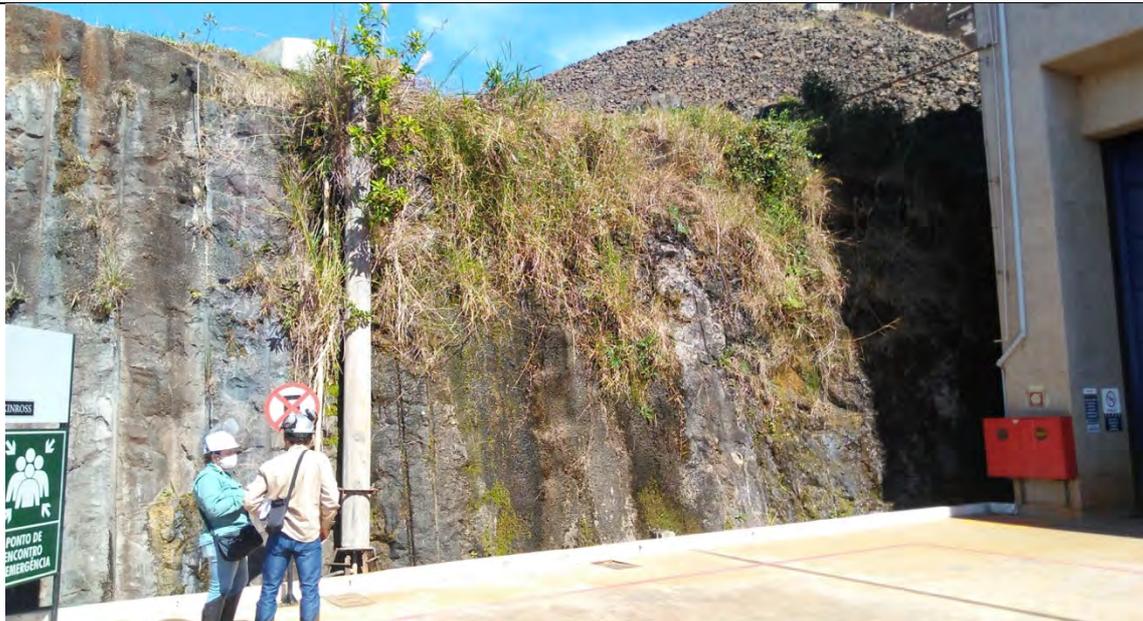
**FOTO 71. DETALHE DA ÁREA ÚMIDA.****FOTO 72. VEGETAÇÃO NA CRISTA DO TALUDE.**



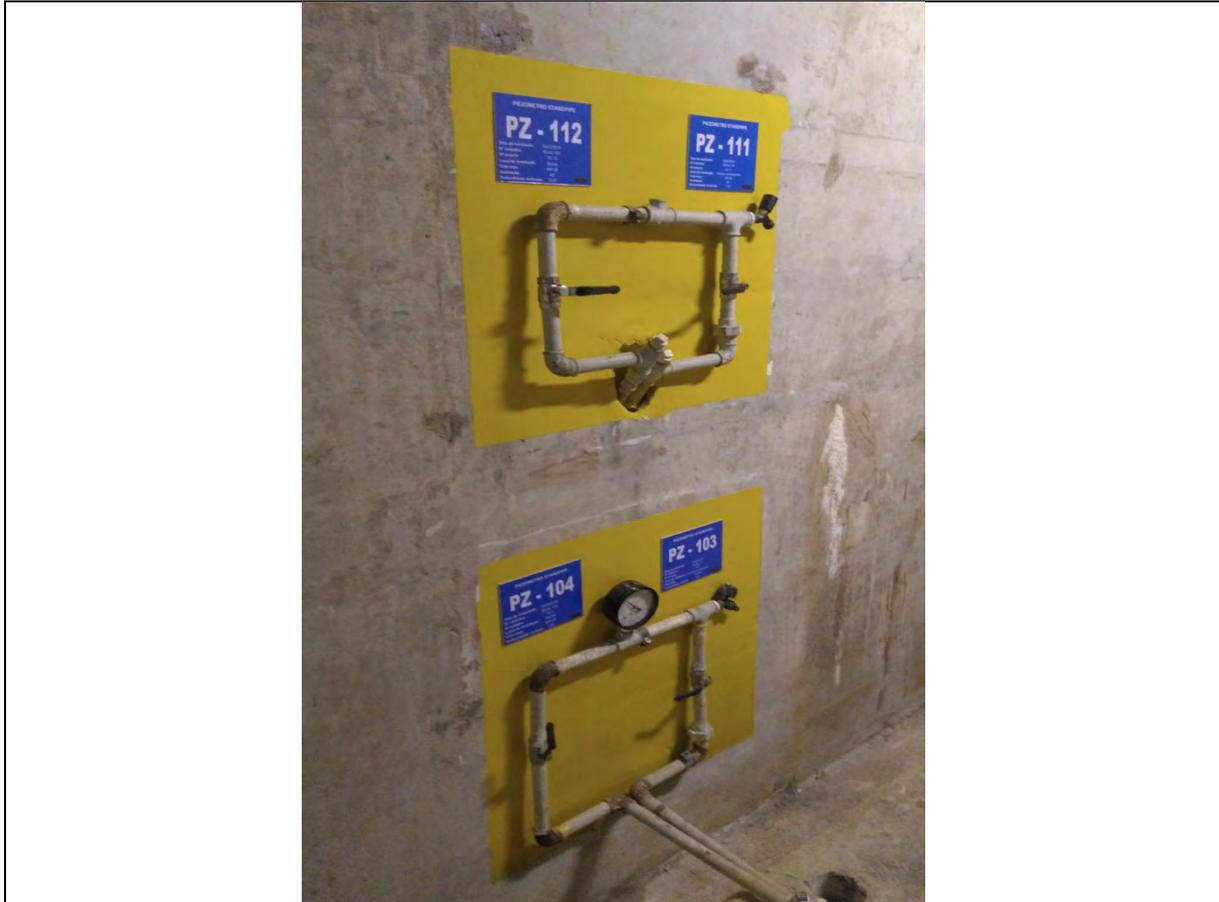
FOTO 73. FIGUEIRA COM RAÍZES.

5.8 GALERIA DE DRENAGEM DA CASA DE FORÇA

Visitou-se a galeria de drenagem da Casa de Força, onde não se observaram vazões anômalas ou carreamento de materiais. A galeria encontra-se limpa e bem sinalizada, com instrumentação identificada. O poço de drenagem não pôde ser acessado.



FOTO 74. GALERIA DE DRENAGEM. VISTA GERAL.

**FOTO 75. INSTRUMENTAÇÃO PADRONIZADA E IDENTIFICADA.****FOTO 76. GALERIA DA CASA DE FORÇA.**

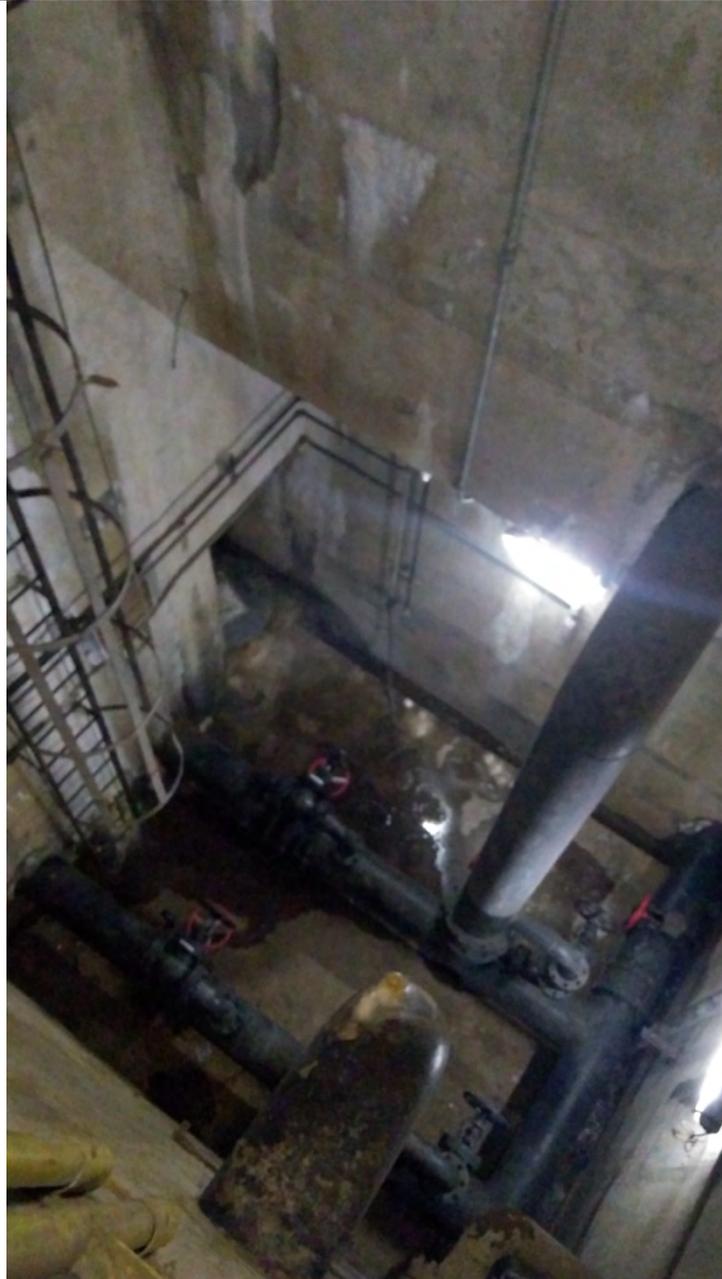


FOTO 77. ACESSO AO POÇO DE DRENAGEM. NO MOMENTO DA VISITA NÃO PÔDE SER ACESSADO.

6 REFERÊNCIAS

Geologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal. CPRM, 2008.

Manual de segurança e inspeção de barragens – Ministério da Integração Nacional, DPOH, 2002.

Plano de Segurança de Barragem – PSB, Volume IV - Plano de Ação de Emergência – PAE, Seção I – Informações Gerais do PAE e da Barragem. Fractal Engenharia, 2019.

Investigações geológico-geotécnicas (PBC). UHE Caçu, Caçu-GO. Gerdau, 2008.

UHEs Caçu e Barra dos Coqueiros, Relatório Técnico 2018 – Milton Kanji e Ricardo Abraão.

Guidicini, G.; Campos, J.O. 1968. Notas sobre a morfogênese de derrames basálticos.

Nieble C.M., Takahashi, H, 1974. Sobre o deslocamento de paredes de escavação em maciços basálticos.

ANEXOS

ANEXO I – ART DO RESPONSÁVEL PELA REVISÃO GEOLÓGICA

	<p>Anotação de Responsabilidade Técnica - ART Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977 Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina</p>	<p>CREA-SC</p>		<p>ART OBRA OU SERVIÇO 25 2021 7955427-2 Inicial Individual</p>
<p>1. Responsável Técnico MARCELO BOGO Título Profissional: Geólogo</p>		<p>Registro: [REDACTED]</p>		
<p>Empresa Contratada:</p>		<p>Registro:</p>		
<p>2. Dados do Contrato</p>				
<p>Contratante: Fractal Engenharia e sistema SA Endereço: RUA LAURO LINHARES Complemento: sala 305 Cidade: FLORIANOPOLIS</p>		<p>Bairro: TRINDADE UF: SC</p>	<p>CPF/CNPJ Nº: 2055 [REDACTED] CEP: 88036-003</p>	<p>Ação Institucional: Tipo de Contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado</p>
<p>3. Dados Obra/Serviço</p>				
<p>Proprietário: KINROSS Brasil Mineração SA Endereço: RUA LAURO LINHARES Complemento: sala 305 Cidade: FLORIANOPOLIS Data de Início: 12/07/2021 Finalidade: Infra-estrutura</p>		<p>Bairro: TRINDADE UF: SC</p>	<p>CPF/CNPJ Nº: 2055 [REDACTED] CEP: 88036-003</p>	<p>Data de Término: 15/09/2021</p>
<p>Coordenadas Geográficas:</p>				
<p>Código:</p>				
<p>4. Atividade Técnica</p>				
<p>Estudo</p>				
<p>Lauda geológico para barragens</p>				
<p>Dimensão do Trabalho:</p>		<p>2,00</p>	<p>Unidade(s)</p>	
<p>5. Observações Relatórios de inspeção/revisão geológica das UHES Barra dos Coqueiros e Cagu.</p>				
<p>6. Declarações</p>				
<p>Acessibilidade: Declaro que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART foram atendidas as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.</p>				
<p>7. Entidade de Classe</p>		<p>9. Assinaturas</p>		
<p>NENHUMA</p>		<p>Declaro serem verdadeiras as informações acima.</p>		
<p>8. Informações</p>		<p>FLORIANOPOLIS - SC, 15 de Setembro de 2021</p>		
<p>A ART é válida somente após o pagamento da taxa. Situação do pagamento da taxa da ART em 15/09/2021: TAXA DA ART A PAGAR</p>				
<p>Valor ART: R\$ 155,38 | Data Vencimento: 27/09/2021 | Registrada em: Valor Pago: | Data Pagamento: | Nosso Número:</p>		<p>MARCELO BOGO [REDACTED]</p>		
<p>A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-sc.org.br/art.</p>		<p>Contratante: Fractal Engenharia e sistema SA</p>		
<p>A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.</p>		<p>[REDACTED]</p>		
<p>Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.025/09 do CONFEA.</p>				