

**CGT Eletrosul - Companhia de Geração e Transmissão de
Energia Elétrica do Sul do Brasil**

UTE Candiota III

BARRAGEM II DO ARROIO CANDIOTA



SERVIÇOS DE REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM NA BARRAGEM II DO ARROIO CANDIOTA

**Relatório Final de Revisão Periódica de Segurança da
Barragem**

Revisão 01

Instrumento Contratual nº 4500045374

SETEMBRO/2021

QUADRO DE CODIFICAÇÃO DO DOCUMENTO

Código:	REL-209-2020-RPS-13-01.docx			
Título do Documento:	Relatório Final de Revisão Periódica de Segurança da Barragem			
Responsáveis Técnicos	Eng. Civil Lucas Rangel Martins CREA: RS214.787 Eng. Civil Gustavo Boff Klaus CREA: RS216.186 Eng. Civil Fabrício Fernandes Vieira CREA 506.224.839.9/D-SP			
Aprovador:	Eng. Civil Fabrício Fernandes Vieira CREA 506.224.839.9/D-SP			
Data da Aprovação:	10/09/2021			
Controle de Revisões				
Nº da Revisão	Natureza/Justificativa	Aprovação		
		Data	Responsável	Rubrica
00	Emissão Inicial	10/09/2021	Lucas Rangel	
01	Adequações	17/09/2021	Lucas Rangel	

SERVIÇOS DE REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM NA BARRAGEM II DO ARROIO CANDIOTA

RELATÓRIO FINAL DA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

Equipe Técnica

Fabício Fernandes Vieira

Engenheiro Civil, Especialista em
Segurança de Barragens

Lucas Escobar

Engenheiro Civil

Lucas Rangel Martins

Engenheiro Civil, Mestre em Recursos
Hídricos e Saneamento Ambiental

Lucas Tarragô

Engenheiro Civil

Lucas Camargo da Silva Tassinari

Engenheiro Civil, Mestre em Recursos
Hídricos e Saneamento Ambiental

Nederson da Silva Koehler

Engenheiro Mecânico

Arthur da Fontoura Tschiedel

Engenheiro Ambiental, Mestre em Recursos
Hídricos e Saneamento Ambiental

Antúlio Alves Júnior

Engenheiro Eletricista

Gustavo Boff Klaus

Engenheiro Civil, MBA em Gestão de
Projetos

Bruno Takeo Yoshida

Engenheiro Civil, Especialista em
Segurança de Barragens

Marcele Nonnenmacher Colferai

Engenheira Ambiental

Pedro Meirelles Leite

Geólogo

Bernardo Pires Caron

Engenheiro Ambiental

Natália de Oliveira Pulcinelli

Graduanda em Engenharia Hídrica

SUMÁRIO GERAL DOS RELATÓRIOS

1. Relatório de Análise e Revisão dos Documentos de Projeto.
2. Relatório de Avaliação da Instrumentação.
3. Relatório de Inspeção Especial de Segurança da Barragem.
4. Relatório de Avaliação das Soluções de Engenharia.
5. Relatório de Reavaliação dos Procedimentos de Operação e Manutenção.
6. Relatório de Reavaliação da Categoria de Risco e do Dano Potencial Associado da Barragem.
7. Relatório de Revisão dos Estudos Hidrológicos.
8. Relatório dos Estudos de Rompimento da Barragem.
9. Relatório de Revisão dos Estudos Geológicos e Sismológicos.
10. Relatório de Avaliação da Fundação da Barragem e do Reservatório.
11. Relatório de Avaliação das Estruturas Extravasoras, Dissipadoras e de Operação.
12. Relatório de Avaliação da Barragem/Dique de Terra e Enrocamento.
13. Relatório Final da Revisão Periódica de Segurança da Barragem.
14. Relatório Executivo da Revisão Periódica da Segurança da Barragem.

SUMÁRIO

1. IDENTIFICAÇÃO DO CONTRATO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS	18
2. INTRODUÇÃO	20
3. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	21
3.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO À BARRAGEM.....	22
3.2. CONCEPÇÃO ORIGINAL DE PROJETO	23
4. REVISÃO DA DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO	30
5. RESULTADO DA INSPEÇÃO DA BARRAGEM	38
5.1. INFRAESTRUTURA OPERACIONAL	39
5.1.1. ACESSO	39
5.1.2. SEGURANÇA LOCAL	40
5.1.3. DOCUMENTAÇÃO E EQUIPE TÉCNICA DA BARRAGEM	40
5.1.4. ESTRUTURA OPERACIONAL.....	40
5.1.5. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	41
5.2. BARRAGEM DE TERRA.....	44
5.2.1. TALUDE DE MONTANTE.....	44
5.2.2. COROAMENTO	45
5.2.3. TALUDE DE JUSANTE	46
5.2.4. REGIÃO A JUSANTE DA BARRAGEM.....	48
5.3. INSTRUMENTOS DE AUSCULTAÇÃO.....	49
5.4. RESERVATÓRIO	51
5.5. VERTEDOURO.....	52

5.5.1.	CANAL DE APROXIMAÇÃO	52
5.5.2.	BLOCO DO VERTEDOURO	53
5.5.3.	CANAL RÁPIDO E BACIA DE DISSIPAÇÃO	58
5.5.4.	MUROS LATERAIS	61
5.5.5.	COMPORTAS	62
5.5.5.1.	COMPORTA 01	62
5.5.5.2.	COMPORTA 02	65
5.5.5.3.	TESTE DE ABERTURA E QUADRO DE COMANDO DAS COMPORTAS	66
5.5.6.	TORRE DE TOMADA D'ÁGUA	67
5.6.	CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE PERIGO GLOBAL DA BARRAGEM (NPGB)	70
5.7.	PLANO DE AÇÃO DE MELHORIAS E CORREÇÃO DAS ANOMALIAS	72
6.	AVALIAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO	73
6.1.	CONDIÇÕES DA INSTRUMENTAÇÃO EXISTENTE	73
6.2.	ANÁLISE DOS DADOS DE INSTRUMENTAÇÃO	74
6.3.	INSTALAÇÃO DE NOVA INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCULTAÇÃO	76
6.4.	DEFINIÇÃO DO PLANO MANUTENÇÃO E NÍVEIS DE CONTROLE DA INSTRUMENTAÇÃO	78
6.5.	DIAGNÓSTICO E AÇÕES INERENTES À INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCULTAÇÃO	82
7.	AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE ENGENHARIA	84
8.	PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	87

8.1.	CONTROLE DE NÍVEL DO RESERVATÓRIO	87
8.2.	OPERAÇÃO DAS COMPORTAS	87
8.3.	BARRAGENS A MONTANTE E JUSANTE	89
8.4.	EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	89
8.5.	PROCEDIMENTOS DE TESTES	89
8.6.	MANUTENÇÕES E INTERVENÇÕES	90
8.7.	SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E ALARME	92
9.	CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL ASSOCIADO	94
9.1.	CATEGORIA DE RISCO	94
9.2.	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	96
9.3.	REAVLIAÇÃO DO CRI E DPA	98
10.	REVISÃO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS	101
10.1.	CARACTERIZAÇÃO REGIONAL DA BACIA HIDROGRÁFICA	101
10.2.	COLETA, ANÁLISE E CONSOLIDAÇÃO DAS INFORMAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS	104
10.3.	DETERMINAÇÃO DOS HIDROGRAMAS AFLUENTES AO RESERVATÓRIO	107
10.4.	AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE DESCARGA	108
10.5.	AMORTECIMENTO DE CHEIAS	109
10.6.	BALANÇO HÍDRICO	111
10.7.	RECOMENDAÇÕES ORIUNDAS DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS	113
11.	ESTUDO DE RUPTURA DA BARRAGEM	115

11.1.	CENÁRIOS DE ANÁLISE.....	115
11.2.	MODELAGEM HIDRODINÂMICA	116
11.3.	MAPAS DE INUNDAÇÃO.....	120
11.4.	RECOMENDAÇÕES ACERCA DO ESTUDO DE RUPTURA.....	123
12.	REVISÃO DOS ESTUDOS GEOLÓGICOS E SISMOLÓGICOS	124
12.1.	ATUALIZAÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA	124
12.2.	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL.....	124
12.3.	AVALIAÇÃO SISMOLÓGICA.....	126
12.4.	REAVLIAÇÃO DOS DADOS E MODELOS GEOLÓGICO- GEOTÉCNICOS DO MACIÇO E INTERFACES	127
12.5.	AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO SUPERFICIAL E DRENAGEM DOS TALUDES	132
12.6.	ANÁLISE DE ESTABILIDADE E PERCOLAÇÃO NAS OMBREIRAS E PROXIMIDADES.....	133
13.	AVALIAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E DO RESERVATÓRIO.....	136
13.1.	AVALIAÇÃO DA FUNDAÇÃO	136
13.1.1.	TRINCHEIRA VEDANTE E CORTINAS DE INJEÇÃO	136
13.1.2.	ANÁLISE DAS VAZÕES DE PERCOLAÇÃO E OCORRÊNCIA DE EROSÃO INTERNA	140
13.1.3.	ANÁLISES DE ESTABILIDADE DA FUNDAÇÃO	142
13.1.4.	AÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA INVESTIGAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM	142
13.2.	AVALIAÇÃO DO RESERVATÓRIO	142
14.	AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS EXTRAVASORAS, DISSIPADORAS DE ENERGIA E DE OPERAÇÃO	147

14.1.	VERIFICAÇÃO DO VERTEDOURO	147
14.2.	VERIFICAÇÃO DA BACIA DE DISSIPAÇÃO	149
14.3.	VERIFICAÇÃO DA FUNCIONALIDADE DAS COMPORTAS.....	150
14.4.	ANÁLISE DA ESTRUTURA DE CONCRETO DO VERTEDOURO	153
15.	AVALIAÇÃO DA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	156
15.1.	MODELAGEM DAS REDES DE FLUXO.....	157
15.2.	ANÁLISES DE ESTABILIDADE.....	159
15.2.1.	ESTABILIDADE OPERACIONAL EXCEPCIONAL – NA MÁXIMO MAXIMORUM.....	159
15.2.2.	ESTABILIDADE OPERACIONAL EXCEPCIONAL – NA MÁXIMO MAXIMORUM COM TRÁFEGO SOBRE A CRISTA	160
15.2.3.	ESTABILIDADE OPERACIONAL EXCEPCIONAL – NA MÁXIMO MAXIMORUM E AÇÃO SÍSMICA.....	161
15.2.4.	ESTABILIDADE OPERACIONAL EXCEPCIONAL – NA MÁXIMO MAXIMORUM E FILTROS COLMATADOS	162
15.2.5.	ESTABILIDADE OPERACIONAL EXCEPCIONAL – NA MÁXIMO NORMAL E REBAIXAMENTO RÁPIDO.....	162
15.2.6.	DIAGNÓSTICO ACERCA DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE.....	163
16.	CONCLUSÕES.....	165
16.1.	REVISÃO DA DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO E AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE ENGENHARIA.....	166
16.2.	AVALIAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO	166
16.3.	INSPEÇÃO ESPECIAL DE SEGURANÇA.....	167
16.4.	REVISÃO DO PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.....	167
16.5.	REVISÃO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS	167

16.6.	ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICO	168
16.7.	REVISÃO DOS ESTUDOS GEOLÓGICOS E SISMOLÓGICOS	169
16.8.	AVALIAÇÃO DA FUNDAÇÃO E DO RESERVATÓRIO	169
16.9.	AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS EXTRAVASORAS, DISSIPADORAS DE ENERGIA E DE OPERAÇÃO	170
16.10.	AVALIAÇÃO DA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	171
17.	RECOMENDAÇÕES E MELHORIAS	173
18.	RESPONSÁVEIS TÉCNICOS PELA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA	180
19.	REFERÊNCIAS	181
	TERMO DE ENCERRAMENTO	184

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização e acessos à Barragem II.....	22
Figura 2. Corte B-B inicial da Barragem de Terra II (fev/1971).....	23
Figura 3. Corte B-B atualizado da Barragem de Terra II (nov/1971).....	23
Figura 4. Detalhe 2 original (fev/1971) da Barragem de Terra II – Geometria e materiais do pé da barragem.	24
Figura 5. Detalhe 2 atualizado (nov/1971) da Barragem de Terra II – Geometria e materiais do pé da barragem.....	24
Figura 6. Detalhe do vertedouro.....	25
Figura 7. Corte do canal rápido (canal de descarga) em seção próxima ao seu início.....	26
Figura 8. Croquis do perfil longitudinal do canal de descarga e da bacia de dissipação.....	26
Figura 9. Planta baixa do canal de descarga e da bacia de dissipação.....	27
Figura 10. Detalhe da região a montante do vertedouro, onde se observa a tomada para descarga permanente.....	27
Figura 11 Corte do vertedouro, onde se observa a tomada para descarga permanente.....	28
Figura 12. Curvas Cota-Área-Volume (CAV) do reservatório, conforme desenhos de Projeto.....	29
Figura 13. Detalhe de camada de enrocamento a montante do barramento (planta CAN B-1031).....	44
Figura 14. Planta da Barragem de Terra II – Aparelhos de Medição (CEEE - abril/1971).....	73
Figura 15. Cota piezométrica correlacionada com a pluviometria – PZ 03 e 04.....	74
Figura 16. Cota piezométrica correlacionada com o nível do reservatório – PZ 03 e 04.....	75
Figura 17. Cota linha freática correlacionada com a pluviometria – MNA 05 e 06.....	75
Figura 18. Cota linha freática correlacionada com o nível d’água do reservatório – MNA 05 e 06.....	76
Figura 19. Locação dos novos Instrumentos na Barragem.....	77
Figura 20. Planta Baixa de locação dos instrumentos no Vertedouro.....	78
Figura 21. Áreas Potencialmente Vulneráveis (APV) a jusante da Barragem.....	97
Figura 22. Bacia de drenagem da Barragem II.....	102
Figura 23. Temperaturas e evaporação para a estação 83980 do INMET.....	103
Figura 24. Precipitação média mensal para a estação Bagé (83890) do INMET.....	103
Figura 25. Distribuição percentual de uso e ocupação do solo na bacia da Barragem II.....	104
Figura 26. Localização das estações fluviométricas selecionadas para o estudo hidrológico.....	105
Figura 27. Localização das estações pluviométricas selecionadas para o estudo hidrológico.....	106
Figura 28. Localização da régua graduada no reservatório.....	107
Figura 29. Hidrogramas afluentes ao reservatório calculados para diferentes TRs pelo método SCS.....	108
Figura 30. Relações entre Nível de Água no reservatório e Vazões Efluentes para descarregador de fundo.	109
Figura 31. Variação do nível do reservatório das cheias com TR 100, 500, 1.000 e 10.000 anos.....	110
Figura 32. Hidrogramas afluentes e efluentes ao reservatório - TRs 10, 20 e 50 anos.....	111
Figura 33. Hidrogramas afluentes e efluentes ao reservatório - TRs de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos..	111
Figura 34. Hidrograma de ruptura no cenário de ruptura por galgamento (cenário extremo.....	117
Figura 35. Hidrograma de operação com vertimento máximo e diferentes TRs de vazão afluente.....	117
Figura 36. MDE Hidrologicamente Coerente para a Área de Estudo.....	119
Figura 37. Manchas de inundação para os cenários de ruptura da barragem – região 1.....	121
Figura 38. Manchas de inundação para os cenários de ruptura da barragem – região 2.....	122
Figura 39. Tempo de chegada de onda de cheia.....	122
Figura 40. Domínios Geofísicos e tectônicos do Escudo Sul Rio-Grandense.....	125
Figura 41. Geologia Regional e Domínios Tectônicos.....	125
Figura 42. Sismos registrados em um raio de 200 km a partir do centroide da barragem.....	127
Figura 43. Localização das sondagens realizadas no eixo da barragem (CEEE, 1971).....	128
Figura 44. Modelo Geológico-Geotécnico e Geomecânico utilizado nas análises de estabilidade sem ensecadeira de montante – NA final.....	131
Figura 45. Rastejo/fluência (creep) observado no paramento de jusante.....	132

Figura 46. Sistema de revestimento e proteção do paramento de montante.....	133
Figura 47. Ombreira direita	134
Figura 48. Ombreira esquerda	134
Figura 49. Detalhe do Corte B-B da Barragem de Terra II (CEEE, 1971).....	137
Figura 50. Vista em planta das cortinas de injeções na fundação do barramento (Eletroconsult, 1971) ..	137
Figura 51. Detalhe das cortinas de injeção no vertedouro (CEEE, 1971).....	139
Figura 52. Vista em planta da cortina de injeções no vertedouro (Eletroconsult, 1971)	139
Figura 53. Perfil da cortina de injeções no vertedouro	140
Figura 54. Detalhe 2 da Barragem de Terra II – Geometria e materiais do pé da barragem (CEEE, 1971)	141
Figura 55. Detalhe 2 atualizado (nov/1971) da Barragem de Terra II – Geometria e materiais do pé da barragem.....	141
Figura 56. Perfil do vertedouro da Barragem II	148
Figura 57. Curva de descarga do vertedouro com uma comporta aberta.....	149
Figura 58. Curva de descarga do vertedouro com duas comportas abertas	149
Figura 59. Croquis do perfil longitudinal do canal de descarga e da bacia de dissipação.....	150
Figura 60. Anomalias nas comportas do vertedouro	151
Figura 61. Relações entre Nível de Água no reservatório e Vazões Efluentes para diferentes aberturas das comportas	153
Figura 62. Esquema de carregamentos - estudo de estabilidade do bloco de concreto do vertedouro	154
Figura 63. Anomalias nos drenos de descarga de fundo do bloco do vertedouro	155
Figura 64. Modelo Geométrico utilizado nas análises de estabilidade.....	156
Figura 65. Resultado da modelagem da rede de fluxo para seção-tipo B-B.....	158
Figura 66. Rede de fluxo para simulação de filtros colmatados – Seção B-B.....	158
Figura 67. Resultado da modelagem da rede de fluxo no cenário de rebaixamento rápido do NR para seção- tipo B-B.	159
Figura 68. Análise de estabilidade para NR Maximorum – Seção B-B.	160
Figura 69. Carga máxima para conjunto 3 eixos em tandem, segundo CONTRAN.	160
Figura 70. Análise de estabilidade para NA máx. máx. e tráfego na crista – Seção B-B.	161
Figura 71. Análise de estabilidade para NR Maximorum e ação sísmica – Seção B-B.....	161
Figura 72. Análise de estabilidade para NR Maximorum e filtros colmatados – Seção B-B.....	162
Figura 73. Análise de estabilidade a montante em condições de rebaixamento rápido – Seção B-B.....	163
Figura 74. Fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade de projeto (CEEE, 1971)	164

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Portão de acesso - sentido de saída, em boas condições.	40
Foto 2: Portão de acesso - sentido de entrada, em boas condições.	40
Foto 3: Sistema de acionamento das comportas – estrutura de proteção.	41
Foto 4: Portão para o acesso ao sistema de acionamento das comportas – Dobradiça prejudicada.	41
Foto 5: Estrutura – Quadro geral de distribuição cargas. Entrada de energia da companhia.	42
Foto 6: Estrutura – Quadro de energia de alimentação da Barragem.	42
Foto 7: Gerador de energia – Situação externa, em boas condições.	42
Foto 8: Gerador de energia – Situação interna, em boas condições.	42
Foto 9: Caixa de passagem de instalações elétricas – fiação exposta e resíduos internos.	43
Foto 10: Caixa de passagem de instalações elétricas – fiação exposta.	43
Foto 11: Talude de montante – Processo erosivo na interface com a crista.	44
Foto 12: Talude de montante - Rip-rap incompleto e/ou deslocado.	44
Foto 13: Coroamento – Vista geral.	45
Foto 14: Coroamento – Crista com buracos na faixa transitável.	45
Foto 15: Coroamento – Faixa transitável.	46
Foto 16: Coroamento – Arbusto de maior porte junto ao poste de energia.	46
Foto 17: Talude de jusante – Presença de afundamento no talude indicado com linha pontilhada.	47
Foto 18: Talude de jusante – Vegetação na região próxima aos muros laterais, lado direito do canal rápido.	47
Foto 19: Talude de jusante – Canaleta de drenagem quebrada e obstruída.	47
Foto 20: Talude de jusante – Formigueiros identificados na estrutura.	47
Foto 21: Talude de jusante – Sinais de movimento de rastejo.	47
Foto 22: Região ao pé da barragem com presença de muita vegetação.	49
Foto 23: Talude de jusante – Região ao pé do talude com presença de muita vegetação.	49
Foto 24: Piezômetro 02 – Condições externas.	50
Foto 25: Piezômetro 02 – Condições internas.	50
Foto 26: Piezômetro 03.	50
Foto 27: Piezômetro 04.	50
Foto 28: Medidor de nível d'água 05.	51
Foto 29: Medidor de nível d'água 06.	51
Foto 30: Canal de aproximação – Saída do reservatório.	52
Foto 31: Canal de aproximação – Chegada no vertedouro.	52
Foto 32: Canal de aproximação – Anomalia observada em uma junta do revestimento do canal.	53
Foto 33: Canal de aproximação – Junta com infiltração e sinais de carbonatação.	53
Foto 34: Soleira do vertedouro – Desplacamento na região próxima ao pilar central, à jusante da comporta 1.	54
Foto 35: Parede do vertedouro – armadura exposta, vista 01.	54
Foto 36: Paredes do vertedouro – Armadura exposta, vista 02.	54
Foto 37: Paredes do Vertedouro – Armadura exposta, vista 03.	54
Foto 38: Bloco do vertedouro – Armadura exposta face inferior do tabuleiro, maior dano identificado.	54
Foto 39: Bloco do vertedouro – Armadura exposta face inferior do tabuleiro, maior dano identificado.	54
Foto 40: Bloco do vertedouro – Carbonatação junto aos munhões metálicos.	55
Foto 41: Bloco do vertedouro – Presença de vegetação nas paredes.	55
Foto 42: Soleira do vertedouro – Fissura na laje de fundo do vertedouro.	55
Foto 43: Bloco do vertedouro – Fissura com abertura de 0,6mm.	55
Foto 44: Bloco do vertedouro – Canaleta lateral de drenagem da crista.	56
Foto 45: Bloco do vertedouro – Pontos de lançamento e manchas de escoamento pluvial.	56
Foto 46: Ausência de proteção nos últimos degraus das escadas de acessos aos munhões metálicos. ...	57
Foto 47: Bloco do vertedouro – Detalhe do trecho da escada sem proteção.	57
Foto 48: Bloco do vertedouro – Ponte sobre o vertedouro.	57

Foto 49: Bloco do vertedouro – Sistema de drenagem do tabuleiro da ponte.	57
Foto 50: Bloco do vertedouro – Junta sem selamento na crista do vertedouro.	58
Foto 51: Bloco do vertedouro – Presença de vegetação nas juntas da crista do bloco do vertedouro.	58
Foto 52: Canal rápido – Vista geral de montante para jusante.	58
Foto 53: Canal rápido – Vista geral de jusante para montante.	58
Foto 54: Canal rápido – Fissura na laje	59
Foto 55: Canal rápido – Armadura exposta na laje	59
Foto 56: Canal rápido – Armação exposta na laje, vista 2.....	59
Foto 57: Canal rápido – Desplacamento do concreto na laje, no vértice da junta com os muros laterais ..	59
Foto 58: Canal rápido e bacia de dissipação – Vista a partir da ponte sobre o vertedouro.	60
Foto 59: Bacia de dissipação – Aproximação da estrutura.....	60
Foto 60: Bacia de dissipação – Vista do final da viga terminal (<i>end-sill</i>).	60
Foto 61: Bacia de dissipação – Vista da região a jusante da bacia de dissipação, do rio Candiota.....	60
Foto 62: Muros laterais – Sinais de lixiviação do concreto.	61
Foto 63: Muros Laterais – Desplacamento do concreto na base do muro, na junta com a laje.....	61
Foto 64: Muros laterais – Armação exposta.	61
Foto 65: Muros laterais – Armaduras de amarração de formas expostas.....	61
Foto 66: Muros laterais – Muro lateral esquerdo, na face junto ao canal rápido.....	62
Foto 67: Muros laterais – Junta do muro lateral esquerdo, face externa, junto a bacia de dissipação energia, com vazamento.	62
Foto 68: Comporta 1 – Detalhe do volume de vazamento e limo na parede do pilar central do bloco do vertedouro.	63
Foto 69: Comporta 1 – Área atingida pelo vazamento.	63
Foto 70: Comporta 1 – Canto inferior esquerdo com corrosão severa causada pelo excesso de umidade (por vazamento)	63
Foto 71: Comporta 1 – Região inferior horizontal.	63
Foto 72: Comporta 1 – Umidade presente na viga de base.	64
Foto 73: Comporta 1 – Canto inferior esquerdo com corrosão severa causada pelo excesso de umidade.	64
Foto 74: Comporta 1 – Deterioração da pintura e corrosão na haste esquerda.	64
Foto 75: Comporta 1 – Parafusos faltantes na haste esquerda.	64
Foto 76: Comporta 1 – Indicação da posição dos parafusos analisados.	65
Foto 77: Comporta 1 – Detalhe da corrosão nos parafusos de sustentação.	65
Foto 78: Comporta 2 – Umidade resultante da perda de capacidade de vedação.	66
Foto 79: Comporta 2 – Deterioração nas vedações.	66
Foto 80: Comporta 2 – Segunda viga com limo e corrosão.....	66
Foto 81: Comporta 2– Parte inferior da base em estado avançado de corrosão.	66
Foto 82: Quadro de comando das comportas – Lâmpada esquerda do quadro de comando.	67
Foto 83: Quadro de comando das comportas – Lâmpada direita do quadro de comando.	67
Foto 84: Canal de descarga – Em operação, junto com a abertura parcial (25 cm) de ambas as comportas.	68
Foto 85: Região a montante da tomada d’água – Comporta com função de “ <i>stop-log</i> ”.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Características da Barragem e Identificação do Empreendedor	21
Quadro 2: Documentação enviada pela CTGEE – Eletrosul.....	30
Quadro 3. Registros de não conformidade - Volume I PSB: Informações Gerais.....	32
Quadro 4. Registros de não conformidade - Volume II PSB: Documentação Técnica do Empreendimento.....	32
Quadro 5. Registros de não conformidade - Volume III PSB: Planos e Procedimentos	34
Quadro 6. Registros de não conformidade - Volume IV PSB: Plano de Ação de Emergência	35
Quadro 7. Registros de não conformidade - Volume V PSB: Inspeção de Segurança	36
Quadro 8. Registros de não conformidade - Volume VI PSB: Resumo Executivo.....	36
Quadro 9: Legendas das siglas da ficha de inspeção.	39
Quadro 10: Legenda do preenchimento da ficha de inspeção.....	39
Quadro 11: Legenda dos registros fotográficos da ISE.....	39
Quadro 12: Ficha de inspeção – Infraestrutura Operacional.....	43
Quadro 13: Ficha de inspeção – Talude de Montante.....	45
Quadro 14. Ficha de inspeção - Coroamento.....	46
Quadro 15. Ficha de inspeção - Talude de Jusante.....	48
Quadro 16: Ficha de inspeção – Região a jusante da barragem.....	49
Quadro 17: Ficha de inspeção – Instrumentação.....	51
Quadro 18: Ficha de inspeção – Reservatório.....	52
Quadro 19: Ficha de inspeção – Canais de aproximação.....	53
Quadro 20: Ficha de inspeção – Estrutura de fixação da soleira.....	58
Quadro 21: Ficha de inspeção – Canal rápido e bacia amortecedora.....	61
Quadro 22: Ficha de inspeção – Muros Laterais.....	62
Quadro 23: Ficha de inspeção – Comportas do vertedouro.....	67
Quadro 24: Ficha de inspeção – Entrada da tomada d’água.....	69
Quadro 25: Ficha de inspeção – Tomada d’água - Acionamento.....	69
Quadro 26: Ficha de inspeção – Comportas da tomada d’água.....	69
Quadro 27: Ficha de inspeção – Estrutura da tomada d’água.....	70
Quadro 28: Ficha de inspeção – Tomada d’água - “Stop-log”.....	70
Quadro 29. Instrumentação encontrada durante ISE.....	73
Quadro 30. Ações de manutenção corrente relacionados às possíveis anomalias da instrumentação.....	78
Quadro 31. Periodicidade de leitura dos instrumentos.....	80
Quadro 32. Níveis de Controle dos Medidores de Nível D’água e Piezômetros.....	81
Quadro 33. Níveis de Controle dos Marcos Superficiais.....	82
Quadro 34. Síntese da análise das soluções de engenharia do projeto da Barragem II.....	84
Quadro 35. Níveis de referência para operação do reservatório (Fonte: PSB da Barragem II, 2020).....	87
Quadro 36. Tempo para abertura das comportas.....	87
Quadro 37: Instruções para a operação manual do gerador.....	88
Quadro 38: Instruções para o desligamento do gerador.....	88
Quadro 39. Situações Operacionais do Reservatório.....	88
Quadro 40. Interferência de barragens a montante e jusante.....	89
Quadro 41. Procedimentos de testes.....	90
Quadro 42. Sugestões de inclusão de tarefas de manutenção.....	90
Quadro 43. Periodicidade de manutenção das estruturas do barramento.....	91
Quadro 44. Periodicidade de manutenção das estruturas extravasoras.....	92
Quadro 45. Classificação da Barragem II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (CT).....	94
Quadro 46. Classificação da Barragem II– ESTADO DE CONSERVAÇÃO (EC).....	95
Quadro 47. Classificação da Barragem II - PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (PSB).....	96
Quadro 48. Áreas Potencialmente Vulneráveis a jusante da Barragem II.....	97
Quadro 49. Classificação da Barragem II quanto ao Dano Potencial Associado (DPA).....	98

Quadro 50. Pontuação da Barragem II quando à avaliação das classes de categoria de risco	99
Quadro 51. Pontuação da Barragem II quando à avaliação das classes de categoria de risco	99
Quadro 52. Pontuação da Barragem II quando à avaliação das classes de dano potencial associado	99
Quadro 53. Matriz para classificação das Barragens conforme resolução ANA nº236/2017	99
Quadro 54. Alterações no CRI para a Barragem II desde a avaliação realizada pela ANA em 2013	100
Quadro 55. Parâmetros fisiográficos para a bacia da Barragem II	101
Quadro 56. Percentuais de tipos de solos na bacia hidrográfica da Barragem II.	104
Quadro 57. Amortecimento das cheias de projeto simuladas para o reservatório da Barragem II.....	110
Quadro 58. Resultados do balanço hídrico para o reservatório da Barragem II nos cenários simulados .	113
Quadro 59. Coeficiente Sísmicos e Fator de Segurança sugeridos por diferentes autores	126
Quadro 60. Parâmetros geotécnicos obtidos a partir da retro-análise dos ensaios de compactação e triaxial	128
Quadro 61. Parâmetros geotécnicos do maciço e interfaces	130
Quadro 62. Evolução de condições do Reservatório da Barragem II do Arroio Candiota - 2008 a 2020..	144
Quadro 63. Verificação dos cenários da bacia de dissipação	150
Quadro 64. Hipóteses de carregamentos	154
Quadro 65. Resumo dos resultados - análise de estabilidade do bloco do vertedouro	154
Quadro 66. Condições de contorno a partir dos instrumentos e sondagens para calibração da linha freática	157
Quadro 67. Resumo dos FSs obtidos nos diferentes cenários	164
Quadro 68. Lista de Recomendações e Melhorias	173
Quadro 69. Equipe técnica da RPSB.....	180

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Áreas de Preservação Permanente
APA	Área de Proteção Ambiental
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul
CGT	Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
ET	Especificação Técnica
FMP	Faixa Marginal de Proteção
FS	Fator de Segurança
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISE	Inspeção Especial de Segurança
ISR	Inspeção Regular de Segurança
MDT	Modelo Digital de Terreno
NA / NR	Nível d'água / Nível do Reservatório
NPA	Nível de Perigo da Anomalia
NPGB	Nível de Perigo Global da Barragem
PAE	Plano de Ação de Emergência
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança da Barragem
RPSB	Revisão Periódica de Segurança da Barragem
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
TR	Tempo de Retorno
UTE	Usina Termelétrica

1. IDENTIFICAÇÃO DO CONTRATO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS

São apresentados, em continuação, os documentos que caracterizam o contrato entre a Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil e a ISB – Segurança de Barragens.

O presente trabalho decorre do contrato firmado com a Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil (CGT Eletrosul) resultante de licitação pública, cujo objeto é a contratação dos “Serviços de Revisão Periódica de Segurança de Barragem na Barragem II do Arroio Candiota, de acordo com as instruções, exigências e condições estabelecidas na Lei nº 12.334/2010 e em resoluções ou regulamentos emitidos pelos órgãos ou entidades fiscalizadoras de segurança de barragens.”.

Os principais dados, informações e condicionantes administrativos que permitem identificar e caracterizar a contratação de serviços de consultoria técnica multidisciplinar são os seguintes:

- Modalidade da licitação: pregão eletrônico;
- Identificação da licitação: Nº 00209/2020;
- Processo administrativo: PE.CGTESU.00209.2020;
- Data de realização da licitação: 26/05/2021;
- Data de assinatura do contrato entre as partes: 25/06/2021;
- Data da ordem de serviço inicial: 05/07/2021;
- Contrato: 4500045374;
- Prazo de vigência do contrato: 150 (cento e cinquenta) dias;
- Prazo de execução do objeto: 2 meses (60 dias);

Com base nas cláusulas e condições referidas e nas especificações executivas constantes no “Termo de Referência” (Anexo 1 do Edital), que orienta a elaboração dos serviços, é que se desenvolvem as atividades pertinentes à Revisão Periódica de Segurança da Barragem II do Arroio Candiota.

RESUMO: O presente relatório traz um compêndio de todos os estudos e análises realizadas no contexto do primeiro ciclo de Revisão Periódica da Barragem II do Arroio Candiota. O documento foi estruturado de forma a permitir ao leitor o entendimento pluralístico e integrado de toda a informação materializada durante os serviços, fazendo-se referência aos demais relatórios para que o mesmo possa consultar detalhes acerca de metodologias, quantitativos e outros aspectos específicos.

Traz-se, inicialmente, uma caracterização do empreendimento e a revisão da documentação técnica fornecida do acerva existente da barragem. Em seguida, foram sumarizados os apontamentos da Inspeção Regular de Segurança, realizada por equipe multidisciplinar, contendo os registros fotográficos, classificação e comentários das anomalias constatadas nas instalações da barragem. Conclui-se pelo enquadramento do NPGB como nível de Atenção.

Nos capítulos posteriores, abordou-se: i) análise da instrumentação de auscultação; ii) avaliação das soluções de engenharia adotadas no projeto do empreendimento; iii) revisão dos procedimentos de operação e manutenção; iv) reavaliação do CRI (classificado como baixo) e DPA (classificado como alto) da barragem; v) revisão dos estudos hidrológicos; vi) elaboração de novo estudo de ruptura hipotética; vii) revisão dos estudos geológicos e sismológicos; viii) avaliação da fundação e reservatório; ix) avaliação das estruturas extravasoras; e x) avaliação da barragem de terra e enrocamento, contendo as análises de estabilidade.

Constitui-se um importante fator limitante, conforme exaustivamente apontado nos relatórios confeccionados, a inópia de dados e informações atualizadas da barragem que pudessem ser empregadas nos trabalhos. Além do mais, os monitoramentos e dados da instrumentação de auscultação são incipientes frente ao período de operação da barragem. Deve restar clara, portanto, que as conclusões dos estudos realizados são limitadas à qualidade e quantidade das informações diretamente fornecidas pelo empreendedor. A pormenorização das conclusões de cada é apresentada no Capítulo 16.

Ainda assim, face ao externado, não foi possível emitir pareceres conclusivos atestando a estabilidade e integralidade da barragem por parâmetros e indicadores quantitativos. Visto que a barragem se encontra em operação a mais de 50 anos, sem relatos de incidentes emergenciais e risco imediato à segurança da barragem, bem como pelas condições constatadas visualmente em campo, pode-se inferir, a título de uma opinião técnica qualitativa, estar a barragem, por hora, em condições satisfatórias de operação e segurança, ressaltando-se fortemente a necessidade de coleta de dados e análises complementares que possam corroborar numericamente o atendimento aos fatores de segurança mínimo requeridos.

Faz-se relevante também o atendimento as demandas de serviços de manutenção, investigações e adequações processuais recomendados conforme priorização e horizonte temporal elencados, almejando-se o subsídio dos elementos informativos inequívocos de caracterização do empreendimento (parâmetros geométricos, geomecânicas, hidrogeotécnicos, fisiográficos, etc.), a melhoria das condições operacionais e de segurança da barragem, bem como salvaguarda da população potencialmente afetada à jusante e dos trabalhadores envolvidos nas atividades rotineiras da barragem.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem II; Arroio Candiota; Revisão Periódica de Segurança; Estudos Geotécnicos; Estudos Geológicos; Estudos Hidrológicos; Inspeção Especial de Segurança; Diagnóstico e Ações; Instrumentação; Estabilidade.

2. INTRODUÇÃO

Em atendimento ao “Item 3.15 Relatório Final de Revisão Periódica de Segurança da Barragem”, da Especificação Técnica do Edital atrelado ao Pregão Eletrônico nº 00209/2020, Contrato 4500045374 firmado entre a Vieira Fernandes e a Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil, o presente documento consubstancia as principais características do empreendimento e as informações oriundas dos demais relatórios e estudos materializados durante os serviços de Revisão Periódica de Segurança da Barragem II do Arroio Candiota.

Inicialmente, abordar-se-á sobre a localização e uma breve descrição técnica do empreendimento. Na sequência, apresentam-se itemizados as sínteses dos relatórios com as análises da documentação de projeto, resultados da Inspeção Especial de Segurança realizada *in loco*, avaliação da instrumentação de auscultação, bem como as demais avaliações relativas aos aspectos operacionais e de manutenção, análises de estabilidade do barramento, estudo de ruptura, estudos geológico-geotécnicos e estudos hidrológicos. Para consulta da integralidade dos conteúdos abordados em cada relatório específico elaborado durante os serviços de Revisão Periódica de Segurança da Barragem II do Arroio Candiota, relaciona-se em cada capítulo o respectivo documento de referência que congrega as informações. Os estudos foram desenvolvidos seguindo as especificações técnicas do objeto contratual, subsidiados pelas informações e documentos disponibilizados pelo empreendedor, além de dados coletados em campo.

Na parte final deste documento são expostas as conclusões acerca das condições de segurança, conservação, operação, estabilidade e integridade da barragem, sendo mencionadas algumas recomendações importantes de melhorias estruturais e/ou pontuais, em termos de serviços e processos, indicadas as prioridades e prazos sugeridos de implementação.

3. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A Barragem II no arroio Candiota é uma das estruturas auxiliares ao funcionamento da Central Termoelétrica Candiota III de propriedade da Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil e operada por ela. O projeto da barragem foi concebido para a regularização das vazões do arroio, permitindo assim o abastecimento da termelétrica. O Quadro 1 apresenta o resumo das características técnicas da Barragem II do Arroio Candiota e a identificação do empreendedor.

Quadro 1. Características da Barragem e Identificação do Empreendedor

Dados Gerais	
Nome da Barragem	Barragem II
Município / UF	Candiota / RS
Corpo hídrico barrado	Arroio Candiota
Coordenadas	Latitude: 31°32'30" S Longitude: 53°40'18" O
Finalidade	Abastecimento Industrial das UTEs da CGT Eletrosul
Reservatório	
Acumulação total	16 hm ³
Acumulação útil	15 hm ³
Área do Reservatório	3,9 km ²
Área de Bacia Hidrográfica	320 km ²
N.A. máximo normal	207,70 s.n.m
N.A. mínimo	196,70 s.n.m.
N.A. máx. excepcional (TR 1000 anos)*	208,89 s.n.m.
Barragem	
Tipo	Terra homogênea
Fundações*	Parte em rocha alterada e parte em saprolito
Altura máxima sobre a cota de fundação	24,00 m
Comprimento do coroamento*	286,00 m
Largura do coroamento*	9,00 m
Largura máxima na base	150,00 m
Inclinação do paramento de montante*	2,3 : 1,0
Inclinação do paramento de jusante	2,0 : 1,0
Proteção dos taludes	Montante: Enrocamento / Jusante: Enleivamento
Vertedouro	
Tipo	Com 2 comportas de setor de 9,75 x 7,00 m
Cota da soleira	200,70 m s.n.m
Enchente milenar*	Entrante: 1.312,00 m ³ /s / Descarregada: 1.072,00 m ³ /s
Vazão descarregada c/ o NA 210,00 m ³	1.312 m ³ /s aproximadamente
Empreendedor	
Razão Social	CGT Eletrosul - Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil.
CNPJ	02.016.507/0003-20
Figura jurídica	Sociedade de Economia Mista
Endereço	Estrada Miguel Arlindo Câmara 3601 – Candiota/RS
Telefone / E-mail	(53) 3245-7500 / migueln@cgteletrosul.gov.br
Qtde de barragens de propriedade do empreendedor	01
Responsável legal	
Nome / Cargo	Antônio Carlos Nascimento Krieger / Presidente
Telefone / E-mail	(48) 3231-7000 / acnkrieger@cgteletrosul.gov.br

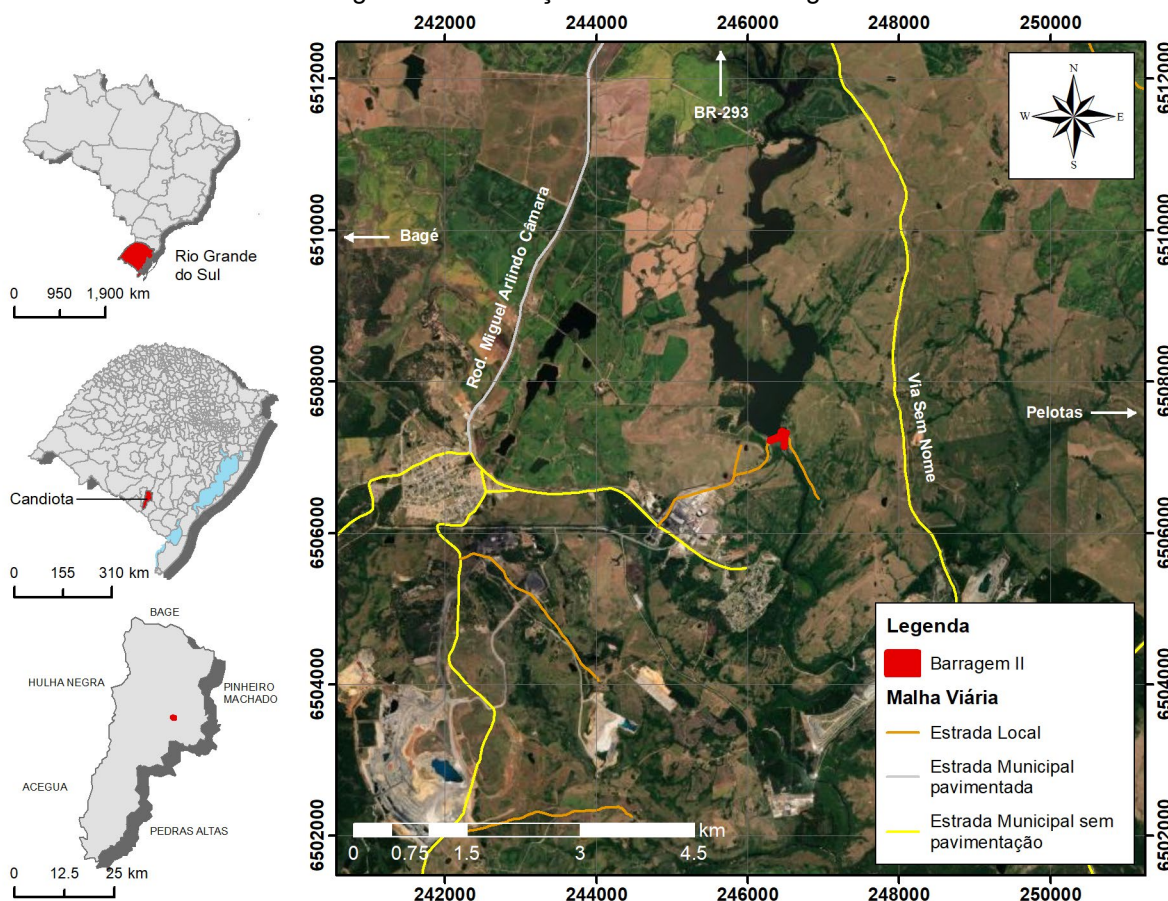
Fonte: Adaptado de CEEE (1971) / * informações definidas no âmbito do contrato

3.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO À BARRAGEM

A Barragem II se localiza aproximadamente a 2,00 km a montante da Barragem I no arroio Candiota na área rural do município de Candiota/RS. A área urbana de Candiota se encontra a jusante da barragem ao lado da Barragem I, à margem direita do arroio e adjacente à Usina Termoeletrica Candiota III. A barragem se localiza a 64 km da área urbana de Bagé, a aproximadamente 1 h de carro pela RS-293 seguindo no sentido Leste-Oeste e pela Rodovia Miguel Arlindo Câmara no sentido norte-sul.

O município de Candiota pode ser acessado de Porto Alegre pela BR-116 e RS-293 via Pelotas totalizando 400 km ou pela BR-290 e BR-153 via Bagé totalizando 411 km. O percurso dura aproximadamente 5 h 30 min a 06 h, dadas as condições atuais das rodovias. O acesso à UTE Candiota III se dá pela Rodovia Miguel Arlindo Câmara a partir da RS-293 no sentido norte-sul. Da rotatória da RS-293 seguindo pela Rodovia Miguel Arlindo Câmara até a UTE são 13 km por via pavimentada (aproximadamente 15 min). Para acessar a barragem, dobra-se à esquerda no sentido Sudoeste-Nordeste em via não pavimentada antes da entrada da UTE e percorre-se aproximadamente 2 km até a ombreira direita da barragem. A Figura 1 ilustra um mapa de localização e acesso à barragem.

Figura 1. Localização e acessos à Barragem II

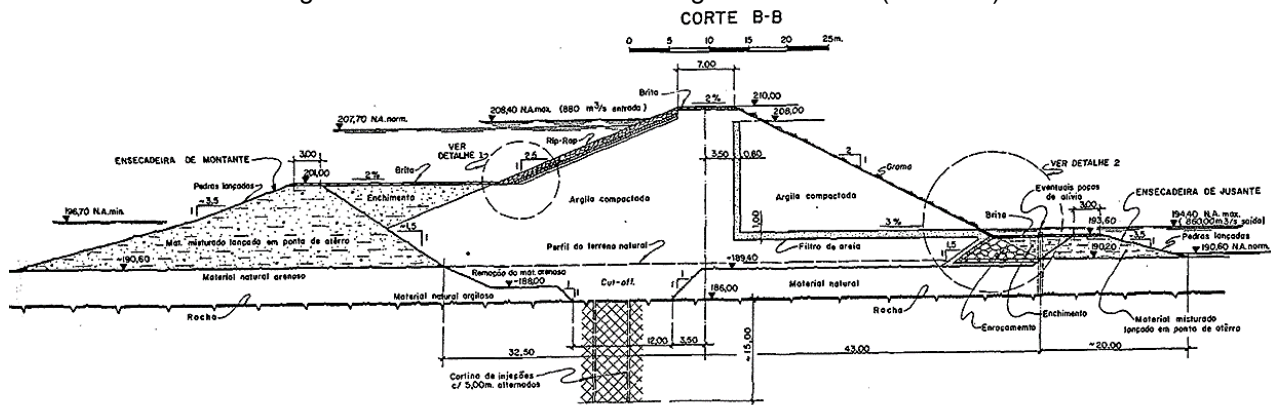


3.2. CONCEPÇÃO ORIGINAL DE PROJETO

O contexto geológico regional e local condicionou o projeto para a escolha de um tipo de barragem em terra tradicional, com filtro interno de areia, paramento de montante com enrocamento, cut-off, cortina de injeções e dreno de pé. As condições geológicas das ombreiras da barragem se constituem de solos de alteração de rocha, sendo o subsolo da fundação constituído por rocha metamórfica, recoberta por sedimentos com espessuras de até 7,50 m em alguns locais.

A seção tipo da barragem é definida, **na primeira versão do projeto**, datada de fevereiro de 1971, pela geometria composta por um corpo de solo argiloso compactado, lançado sobre o material natural da calha, sendo escavada a fundação no trecho do cut-off até a superfície da rocha sã como pode ser visualizado na Figura 2. O corpo da barragem conta com um filtro vertical e um horizontal de areia que asseguram o controle da percolação através do maciço impermeável. O filtro horizontal foi projetado para estar em uma cota superior ao nível mínimo d'água, a jusante da barragem. O paramento de montante do maciço argiloso é protegido com uma camada de enrocamento, sobre uma camada de brita (transição) desde a cota da enseadeira até o nível da crista.

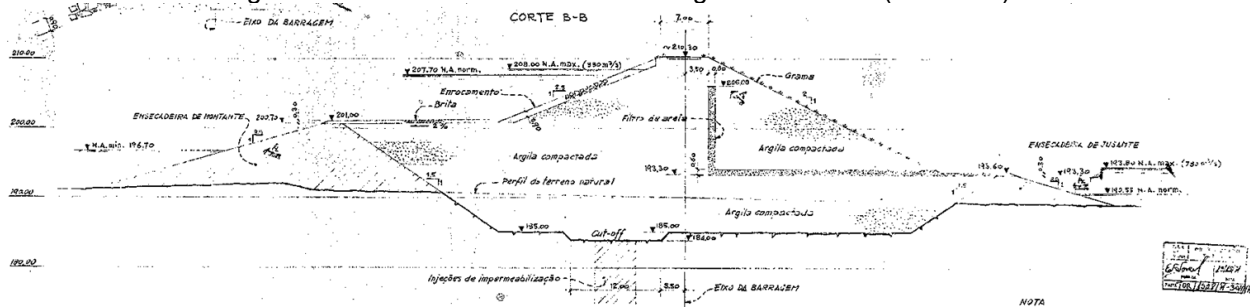
Figura 2. Corte B-B inicial da Barragem de Terra II (fev/1971).



Fonte: Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), 1971.

Em uma **segunda versão do projeto**, datado de novembro de 1971, a seção não é inteiramente remodelada, no entanto, nota-se como alteração fundamental, a escavação até a rocha do material natural e enchimento com o material vedante de argila compactada. Altera-se também pequenos detalhes relacionados a drenagem a jusante da barragem como se nota na Figura 3.

Figura 3. Corte B-B atualizado da Barragem de Terra II (nov/1971).



Fonte: Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), 1971.

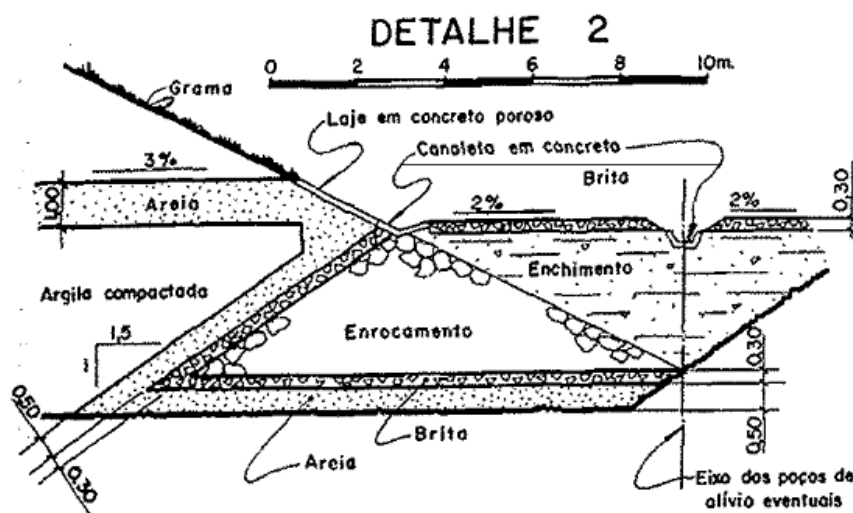
As enseadeiras foram previstas na época de projeto para serem construídas com material misturado proveniente das escavações do canal de desvio lançado sobre o material natural da caixa do rio. A inclinação

dos paramentos externos é de aproximadamente 3,5 : 1,0 e dos paramentos internos de 1,5 : 1,0. A cota do coroamento é de 201 m para a ensecadeira de montante e de 193,6 m para a ensecadeira de jusante.

A fundação da barragem sob o cut-off foi concebida em projeto para ser impermeabilizada longitudinalmente por uma cortina de injeções a cada 5,00 m com duas fileiras alternadas até 15,0 m de profundidade, ainda que não haja informações que indiquem a sua execução.

Na Figura 4 são apresentados os detalhamentos da drenagem do pé da barragem a jusante, originalmente concebido em fevereiro de 1971. O dreno de pé, denominado na figura como enrocamento é separado do filtro de areia por uma camada de transição granulométrica composta por brita. O paramento de jusante do filtro de areia é contido por uma laje em concreto poroso seguido de uma canaleta para a drenagem do escoamento superficial. O paramento do dreno de pé é preenchido por uma camada de enchimento sem granulometria especificada em projeto. Foram projetados poços de alívio no pé da barragem os quais não há registro de execução e devem ter a sua execução confirmada em inspeção.

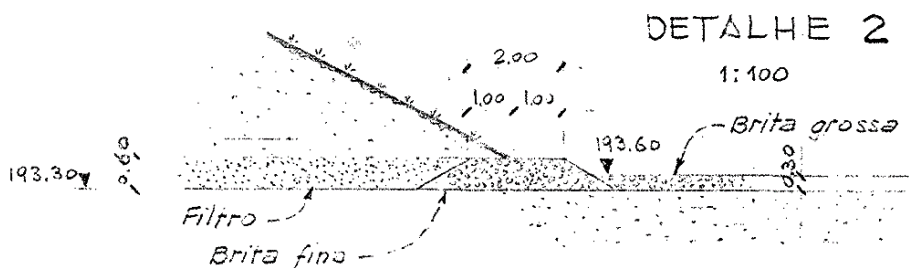
Figura 4. Detalhe 2 original (fev/1971) da Barragem de Terra II – Geometria e materiais do pé da barragem.



Fonte: Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), 1971.

Na versão disponível, com data de novembro de 1971, a drenagem do pé da barragem é simplificada, havendo apenas um dreno de pé de 60 cm, mesma altura do filtro horizontal, seguido de uma camada de brita de 30 cm sobre a ensecadeira de jusante (Figura 5). De fato, as características encontradas atualmente no local se assemelham a esta versão concebida, podendo ser ratificada, a princípio, como a executada.

Figura 5. Detalhe 2 atualizado (nov/1971) da Barragem de Terra II – Geometria e materiais do pé da barragem.

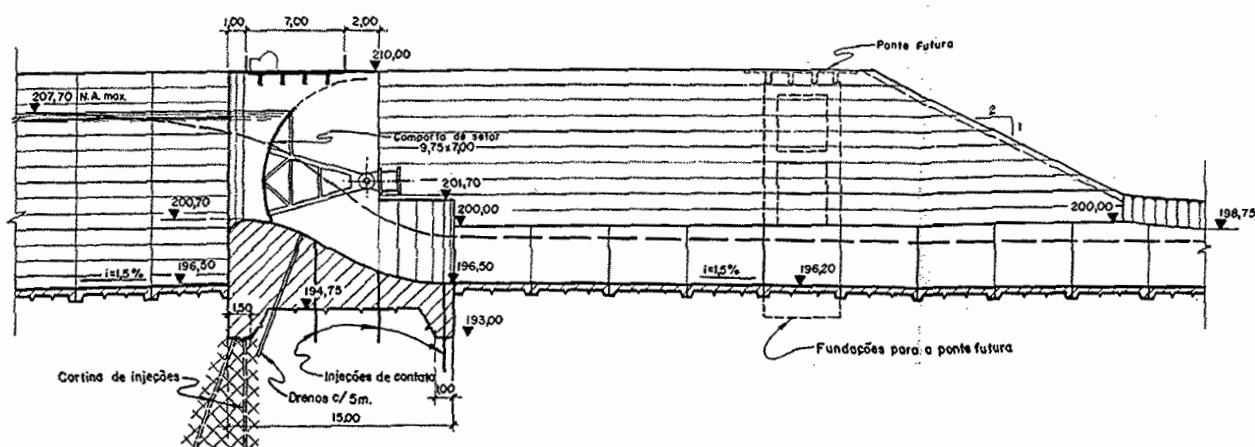


Apesar das diferenças entre as duas versões das pranchas disponíveis, não há registros que permitam conhecer o intuito das modificações, e se ocorreram durante as etapas de execução. O que se pode afirmar é a semelhança encontrada *in loco*, especialmente na região do dreno de pé, e do terreno logo a jusante.

O estudo hidrológico que alicerçou o projeto das estruturas hidráulicas da Barragem II utilizou os dados da estação fluviométrica de Dario Lassance, instalada em 1948, não muito distante do local da barragem. A partir desses dados, foi calculada a descarga máxima de cheia igual a 880 m³/s para a máxima cheia milenar provável.

A partir disso, foi projetado um vertedouro controlado por comportas, incorporado à barragem junto à ombreira esquerda, com canal rápido, seguido por uma bacia de dissipação de energia por ressalto hidráulico. A Figura 6 apresenta um corte do bloco do vertedouro, que conta também com uma tomada d'água para atendimento das demandas ecológicas e da própria Usina Termelétrica.

Figura 6. Detalhe do vertedouro.



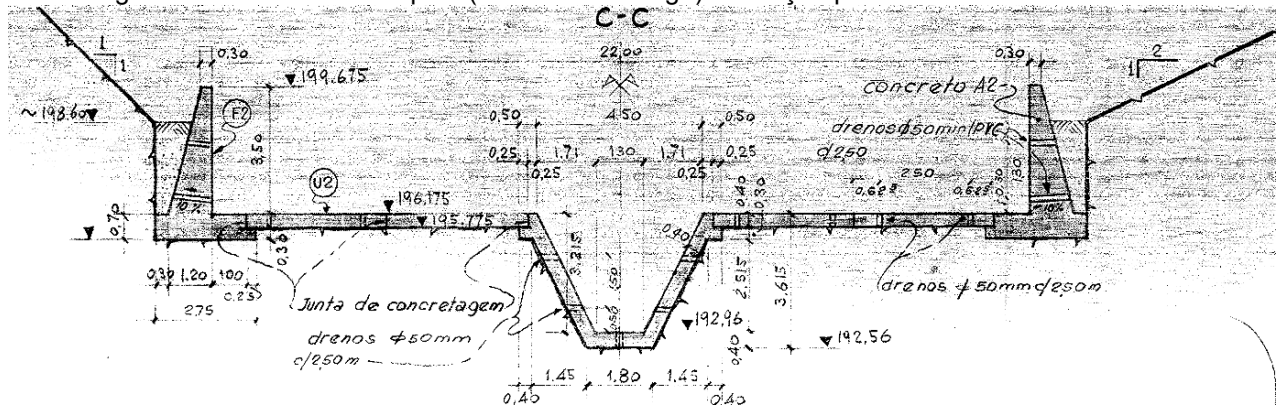
Fonte: Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), 1971.

Para o controle do dispositivo de extravasamento, há duas comportas de setor, com vãos de 9,75 m, alturas de 7,17 m e raios de 6,81 m. A velocidade de levantamento e abaixamento destas comportas é de aproximadamente 0,25 m/min, resultando um tempo de levantamento e abaixamento completo de aproximadamente 22 min (VOGG, 1974).

Conforme dados de projeto, a cota da crista do vertedouro (CCV) é 200,70 m, o nível máximo normal (NA máx.) é 207,70 m, o nível máximo *maximorum* (NA máx. máx.) é 208,40 m e a cota da crista da barragem (CCB) é 210,00 m. O paramento de montante do vertedouro é vertical e possui cota de fundo igual a 196,50 m. A jusante, o perfil do vertedouro se desenvolve por cerca de 15,00 m, até encontrar o canal rápido, na cota 196,50 m. No projeto, considerou-se que o nível mínimo de água no reservatório é 196,70 m.

O canal rápido (denominado canal de descarga em algumas peças gráficas do projeto) tem um comprimento de aproximadamente 120 m e possui seção mista (Figura 7), sem parede divisória, com um canal trapezoidal em cota mais baixa, no centro do canal, responsável pela condução da vazão permanente (composta pela demanda para a usina e pela vazão ecológica) até a bacia de dissipação e, após, até o arroio Candiota. O canal rápido possui declividade longitudinal igual a 3,25% na parte principal, em ambos os lados, enquanto o canal da descarga de fundo possui declividade longitudinal igual a 0,33%, chegando, ambos, na cota 192,60 m, onde inicia a bacia de dissipação de energia.

Figura 7. Corte do canal rápido (canal de descarga) em seção próxima ao seu início.



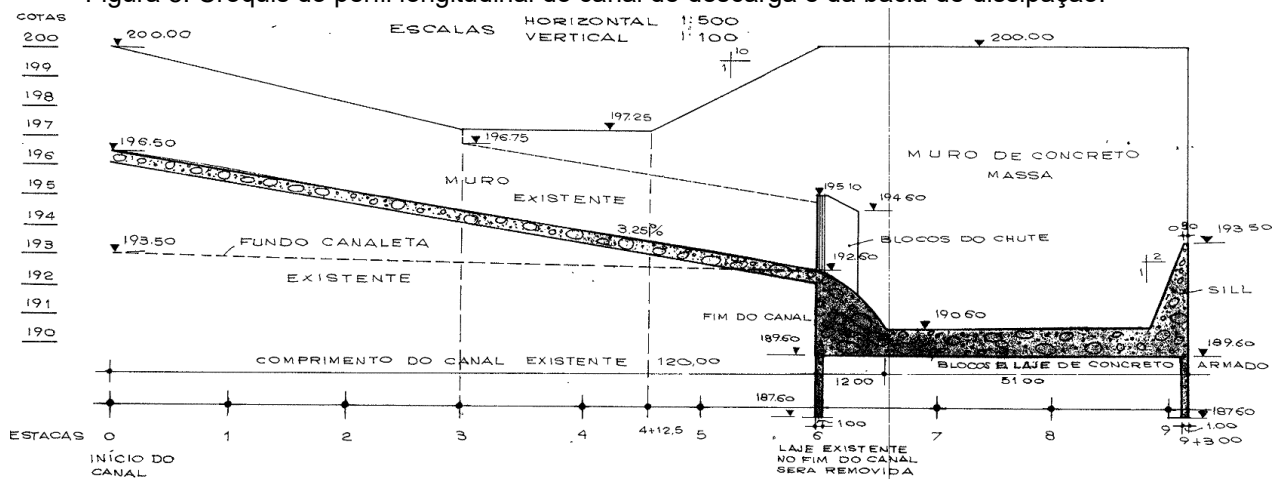
Fonte: Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), 1971.

Originalmente, foi executada uma bacia de dissipação de energia a jusante do canal de descarga da barragem protegida por muros de arrimo. No entanto, para a sua implantação, deveria existir boas condições de fundação, uma vez que, na operação das comportas, seriam criadas intensas solicitações ao terreno e à própria estrutura.

Dessa forma, conforme Munarski (1978), foi necessário recuperar uma cava erodida a jusante do vertedouro, devendo-se executar uma bacia de dissipação em concreto, após a demolição da laje em concreto que constituía a bacia original. Dessa forma, foi prevista uma laje em concreto armado sobre a área recuperada com solo cimento ou enrocamento injetado com argamassa. Essa laje possui 1,00 m de espessura, situada na cota 190,60 m. A largura desta bacia é igual àquela do canal de descarga, com 22,0 m, e foi dimensionada para uma vazão de 780 m³/s, ou seja, para uma vazão específica de 35,45 m³/s/m.

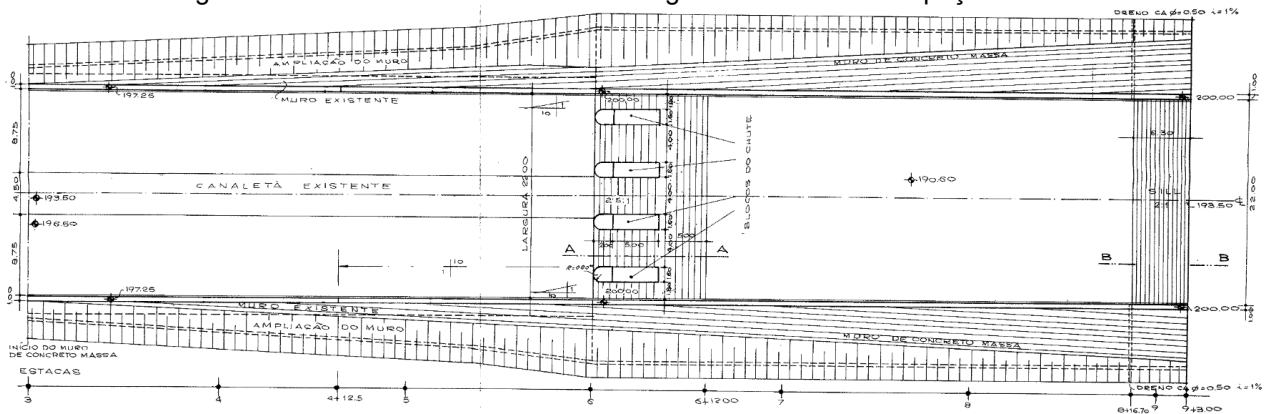
Assim, conforme a Figura 8 e a Figura 9, a laje originalmente executada ao final do canal de descarga, com 13 m de comprimento, deu lugar a uma transição, onde foram implantados 04 blocos de impacto, com 1,60 m de largura e espaçamento igual a 4,00 m. Dessa forma, a bacia de dissipação calculada possui um comprimento total de 51 m além da transição, com uma soleira terminal com declividade de 2H:1V, com coroamento na cota 193,50 m. Como a altura conjugada lenta para a vazão de projeto é igual a 9,42 m, os muros foram projetados com topo na cota 200,00 m.

Figura 8. Croquis do perfil longitudinal do canal de descarga e da bacia de dissipação.



Fonte: Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), 1978.

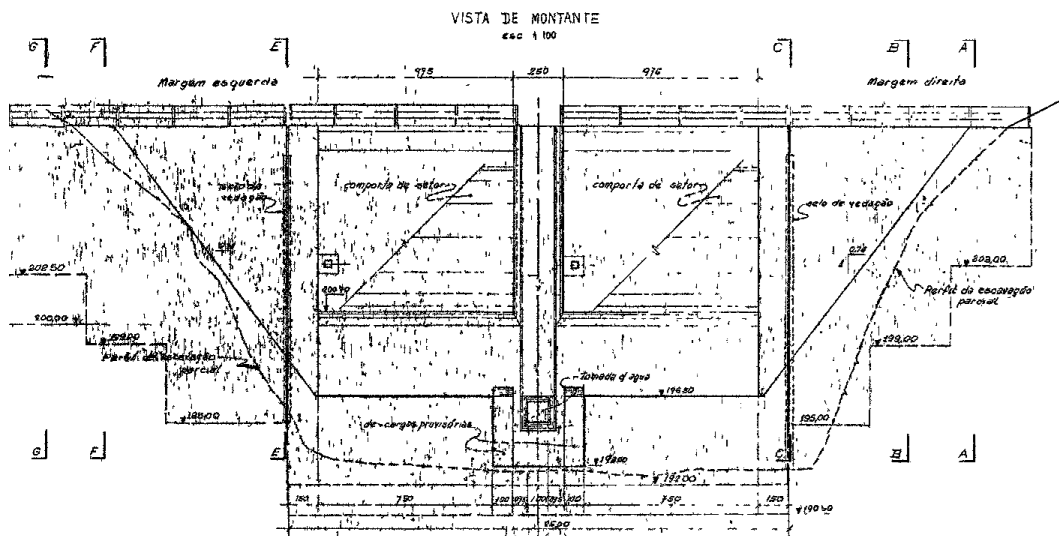
Figura 9. Planta baixa do canal de descarga e da bacia de dissipação.



Fonte: Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), 1978.

No bloco do vertedouro, há uma abertura entre as comportas, em cota mais baixa, onde é feita a captação de água para a descarga permanente. Esta descarga é controlada por uma comporta, com controle manual junto à crista da barragem. A Figura 10 e a Figura 11 mostram o projeto básico do sistema, que conduz água até um canal de descarga.

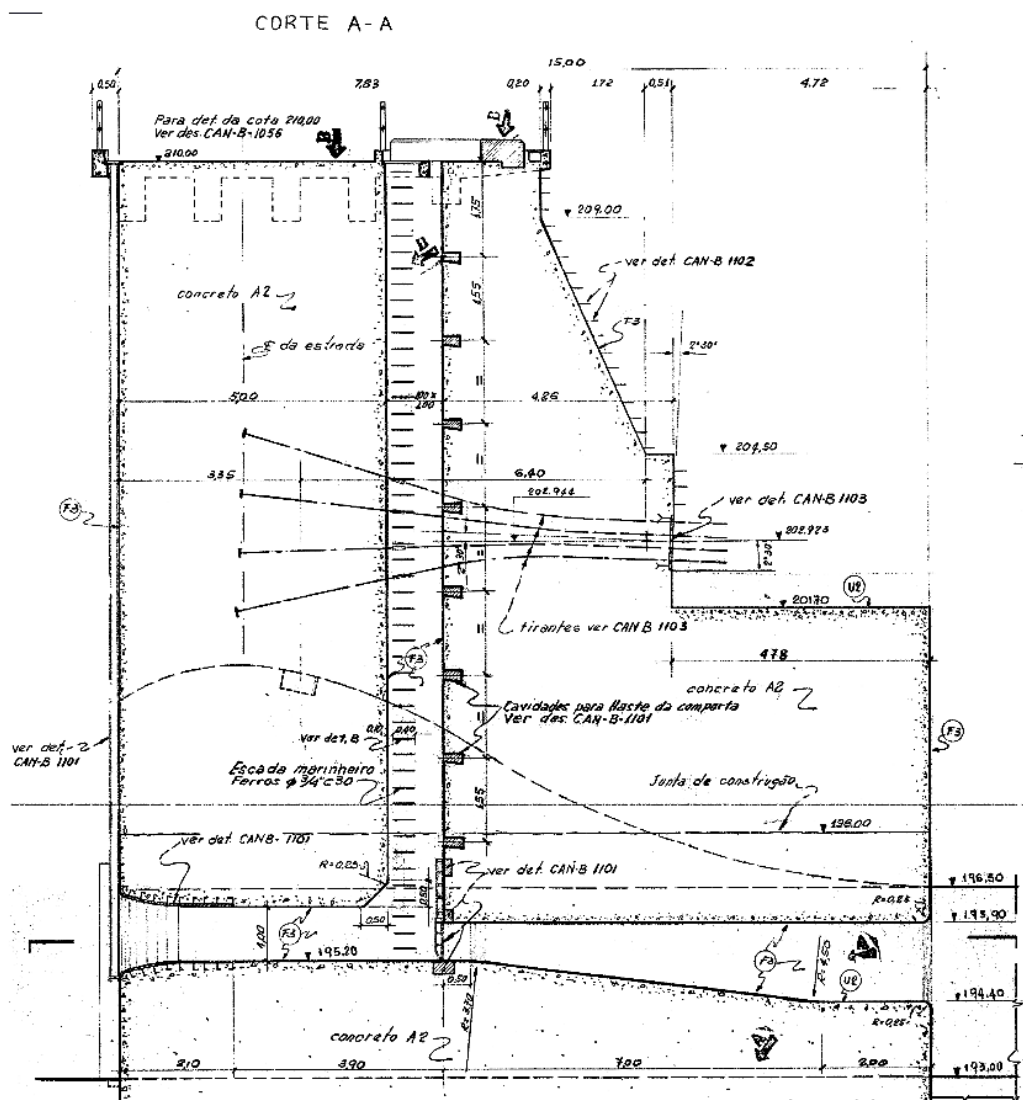
Figura 10. Detalhe da região a montante do vertedouro, onde se observa a tomada para descarga permanente.



Adaptado de: Eletroconsult (1972), desenho CAN B-1051.

A resolução ANA nº 450, de 23 de outubro de 2006, outorga à Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica – CGTEE (atualmente CGT Eletrosul) o direito de uso dos recursos hídricos no Arroio Candiota, considerando-se a captação de 291,7 L/s no reservatório da Barragem I, desde que garantida a manutenção de uma vazão mínima a jusante dos barramentos igual a 187 L/s, resultando uma vazão permanente, a jusante da Barragem II, igual a 480 L/s.

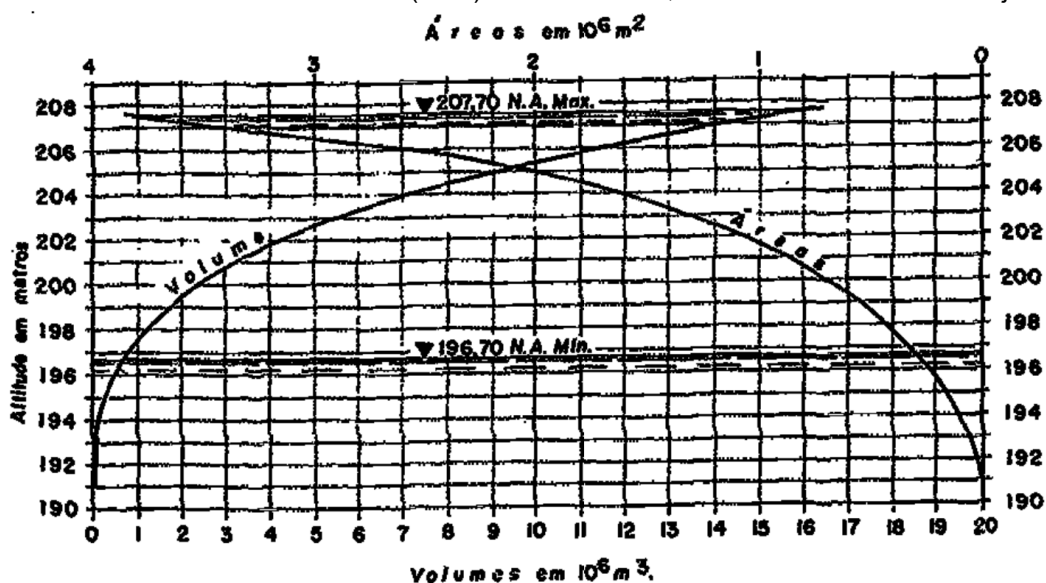
Figura 11 Corte do vertedouro, onde se observa a tomada para descarga permanente.



Adaptado de: Eletroconsult (1972), desenho CAN B-1054.

O reservatório possui volume igual a 3 hm³ para o NA coincidindo com a CCV (200,70 m), 16 hm³ para NA máx. (207,70 m) e 19,5 hm³ para o NA máx. máx. (208,40 m), sendo este último valor uma extrapolação das curvas CAV (Figura 12). O NA mínimo, igual a 196,70 m, possui um volume morto igual a 1,0 hm³.

Figura 12. Curvas Cota-Área-Volume (CAV) do reservatório, conforme desenhos de Projeto.



Fonte: Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), 1971.

Todos os detalhes aqui descritos são transcritos do PROJETO, não havendo registros escritos ou fotográficos de que a barragem foi construída da forma como foi projetada. Não foram disponibilizados projetos executivos, as *built*, Relatórios de Obra (RDOs), entre outros documentos que comprovem e descrevam as ações tomadas durante as obras.

4. REVISÃO DA DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO

Documento de referência: REL-209-2020-ARD-01-00 – Relatório de Análise e Revisão dos Documentos de Projeto

As atividades de revisão da documentação de projeto consistiram na análise de toda documentação técnica fornecida pelo empreendedor, relativa ao Plano de Segurança da Barragem e seus componentes, quanto à conformidade e atendimento dos requisitos básicos da legislação pertinente, especialmente a luz da:

- Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010;
- Resolução ANA nº 236, de 30 de janeiro de 2017;
- Resolução ANA nº 556, de 27 de março de 2017;
- Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Vol. I (ANA, 2016);
- Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Vol. II (ANA, 2016);
- Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Vol. III (ANA, 2016);
- Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Vol. IV (ANA, 2016);
- Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Vol. V (ANA, 2016);
- Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens - Vol. VII (ANA, 2016).

O Quadro 2 traz a relação da documentação fornecida.

Quadro 2: Documentação enviada pela CTGEE – Eletrosul.

Relação dos documentos fornecidos pelo empreendedor	Data de emissão	Data de recebimento
1. DADOS HIDROLÓGICOS		
1.01. Dados pluviométricos de mar/2011 a jun/2021	06/07/2021	06/07/2021
1.02. Dados pluviométricos de 2000 a 2021	30/06/2021	16/08/2021
2. DADOS DOS INSTRUMENTOS		
2.02. Rotina de leitura dos piezômetros de jan/2020 a jun/2021	06/07/2021	06/07/2021
3. MONOGRAFIA		
3.01. Relatório da monografia de pontos de inspeção	21/02/2019	06/07/2021
3.02. Planta de localização de pontos de inspeção	20/02/2019	06/07/2021
4. PROJETOS		
4.01. Planta e corte da localização e perfil dos instrumentos	08/08/2011	06/07/2021
4.02. Planta de área da Barragem II	21/10/2002	06/07/2021
4.03. Detalhamento da armação da canaleta	08/08/2011	06/07/2021
4.04. Detalhamento da armação da ponte	08/08/2011	06/07/2021
4.05. Planta da bacia de acumulação da Barragem I	21/10/2002	06/07/2021
4.06. Planta da bacia de acumulação da Barragem II	20/10/2002	06/07/2021
4.07. Detalhamento da seção em corte da Barragem II	21/10/2002	06/07/2021

Relação dos documentos fornecidos pelo empreendedor	Data de emissão	Data de recebimento
4.08. Planta, cortes e detalhes do canal de adução	08/08/2011	06/07/2021
4.09. Plantas e cortes dos muros de transição do canal de adução	08/08/2011	06/07/2021
4.10. Detalhamento da armação da canaleta do canal de descarga	08/08/2011	06/07/2021
4.11. Plantas do canal de descarga	08/08/2011	06/07/2021
4.12. Cortes do canal de descarga	08/08/2011	06/07/2021
4.13. Detalhamento das lajes, armações dos muros e de fundo do canal de descarga	08/08/2011	06/07/2021
4.14. Cortes das ensecadeiras	08/08/2011	06/07/2021
4.15. Detalhamento da armação do vertedor	08/08/2011	06/07/2021
4.16. Detalhamento da armação da ponte do vertedor	08/08/2011	06/07/2021
4.17. Detalhamento da armação das descargas provisórias do vertedor	08/08/2011	06/07/2021
4.18. Detalhamento da armação dos blocos das margens	08/08/2011	06/07/2021
4.19. Detalhamento das peças fixas da tomada d'água	08/08/2011	06/07/2021
4.20. Detalhamento guia das comportas	08/08/2011	06/07/2021
4.21. Detalhamento da armação do pilar central do vertedor	08/08/2011	06/07/2021
4.22. Detalhamento da armação dos pilares extremos do vertedor	08/08/2011	06/07/2021
4.23. Sondagens para estudo de fundações	26/11/1970	03/08/2021
4.25. Avaliação do volume de obra	Não consta	03/08/2021
4.26. Especificações técnicas da barragem II do Arroio Candiota	Não consta	03/08/2021
4.27. Cortes e plantas do vertedouro	03/1972	03/08/2021
4.28. Ensecadeiras, obras de proteção e esgotamento	Não consta	03/08/2021
4.29. Obras civil de metal	Não consta	03/08/2021
4.30. Obras viárias	Não consta	03/08/2021
4.31. Projeto de recuperação da erosão no maciço natural a jusante do canal de descarga no vertedor	05/1978	03/08/2021
4.32. Desenhos mecânicos e civil de especificações das comportas	1971 - 1972	03/08/2021
4.33. Plano de fabricação e controle de qualidade das comportas	1972	03/08/2021
4.34. Especificação técnica para reforma das comportas tipo segmento da Barragem II do Arroio Candiota	1972	03/08/2021
4.35. Especificações de guincho elétrico	1972	03/08/2021
4.36. Instruções para operação das comportas de Candiota II	20/09/1974	03/08/2021
4.37. Tabela de lubrificação Mobil	04/10/1972	03/08/2021
4.38. Instruções de montagem da comporta	19/12/1972	03/08/2021
4.39. Monitoramento dos recursos hídricos superficiais do Arroio Candiota e Sanga Funda	07/2021	11/08/2021

Relação dos documentos fornecidos pelo empreendedor	Data de emissão	Data de recebimento
5. PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM		
5.1 Volume I	18/12/2020	06/07/2021
5.2 Volume II	14/12/2020	06/07/2021
5.3 Volume III	15/12/2020	06/07/2021
5.4 Volume IV	09/08/2019	06/07/2021
5.5 Volume V	24/11/2014	06/07/2021
5.6 Volume VI	16/12/2020	06/07/2021

Após o recebimento e organização do acervo técnico disponibilizado em via digital pelo empreendedor, confrontou-se o conteúdo da documentação quanto ao atendimento aos requisitos obrigatórios elencados pela legislação e normas de referência, indicando-se as não conformidades. Nesta análise, uma não conformidade foi definida como a inexistência ou nível de detalhamento insuficiente do documento analisado quanto ao requisitos.

Nos quadros a seguir são listadas as não conformidades inerentes a cada conjunto de documentos congregados dos volumes I a VI do Plano de Segurança da Barragem II do Arroio Candiota.

Quadro 3. Registros de não conformidade - Volume I PSB: Informações Gerais

Tomo I	
Página	Descrição da Não Conformidade
07	Cap. I.3.1 Não consta figura com a localização da Barragem, apenas da UTE.
09	Cap. I.3.2 Não apresenta Planta Geral.
10	Cap. I.3.2 Não apresentam de seções principais.
11	Cap. I.3.2 Não consta o nível máximo de cheia milenar nem dados sobre o descarregador de fundo e estruturas extravasoras.
11	Cap. I.3.2 As comportas estão descritas como descarregador de fundo e não como um órgão extravasor .
17	Cap. I.3.5 Existe divergência no próprio PSB que descreve as comportas como descarregador de fundo e também como órgão extravasor.
18	Cap. I.3.6 Não descreve a instrumentação da barragem, sua localização ou detalhes dos instrumentos em peças gráficas
19	Cap. I.3.7 Não descreve com detalhes os acesso à barragem
Tomo II	
21	Não estão listados todos os projetos que são apresentados nos anexos do Tomo II

Quadro 4. Registros de não conformidade - Volume II PSB: Documentação Técnica do Empreendimento

Página	Descrição da não conformidade
22	Cita o procedimento de operação, mas não esclarece onde encontrar o documento
22	Cita o procedimento de manutenção (42823), mas não esclarece onde encontrar o documento
22	Não descreve as características do empreendimento
22	Não descreve a regra operacional do reservatório

Página	Descrição da não conformidade
22	Não descreve a regra operacional dos órgãos extravasores
22	Não apresenta os registros de operação
Anexo**	Apresenta-se projetos do vertedouro e de cálculo de enchente, porém o documento tem baixa resolução, o que prejudica a compreensão.
Anexo**	Detalhamento do descarregador de fundo com baixa resolução de imagem.
Não consta***	<u>Regra operacional do reservatório</u>
	Não indica vazão mínima a jusante
	Não indica liberações obrigatórias de água
	Não há simulações do regime de operação entre vazões afluentes
	Não há regras de operação de reservatório
	Solicita mudanças das regras de operação após o RPSB, mas não apresentam as regras até então vigentes
	<u>Plano de manutenção</u>
	Não consta plano de manutenção e nem registro de manutenção
	Deve haver um plano de manutenção para a barragem (só há para a usina)
	Não há um cronograma definidos de testes de equipamentos
	<u>Manutenção das estruturas</u>
	Não indica a periodicidade das manutenções
	Não existe plano de manutenção para barragens de concreto
	Não há plano de manutenção corrente nos órgãos extravasores
	<u>Planejamento das inspeções</u>
	Não há um planejamento das inspeções
	<u>Planejamento de monitoramento e instrumentos</u>
	Consta em um documento da CGT Eletrosul, mas não incorporado ao PSB
	<u>Instrumentos de auscultação</u>
	Não indica localização e nem características dos mesmos
Não apresenta detalhamentos da instrumentação	
Não apresenta a planta da instrumentação	
Não apresenta grandezas a serem monitoradas	
Não apresenta as seções transversais instrumentadas	

Página	Descrição da não conformidade
	Não foram fornecidos os perfis de instalação
	Não tem especificações técnicas dos instrumentos
	Não existe registro das leituras desde sua instalação nem interpretação dos dados
**Anexo arquivado separadamente, portanto, sem página;	
***Informações faltantes observadas, sem possibilidade de referência por página;	

Quadro 5. Registros de não conformidade - Volume III PSB: Planos e Procedimentos

Página	Descrição da não conformidade	
43	Erros de digitação no título e 1º parágrafo	
43	Gráfico de dados piezométricos não possui identificação dos eixos e unidades	
44	Tabela de piezometria não identificada	
45	Não há registro/relatórios de ocorrência fora de anomalias.	
45	Não há relatórios de operação ou registros adicionais	
46	Registros de manutenção em 2020 estão fora de ordem cronológica	
Não consta**	Não foram mencionadas soluções para as seguintes anomalias apontadas:	
	Vidro quebrado	
	Falta de iluminação	
	Necessidade de verificação do painel geral	
	Necessidade de verificação do painel de acionamento das comportas	
	Vazamento de água pelo selo de vedação	
Não consta**	Contenção do radiador do gerador furada	
	46	Não há realização de relatórios de manutenção (há possibilidade de adoção)
	47	Não há relatórios de modificação por manutenção
	47	Não há relatórios de comportamento de equipamentos
	47	Não há relatórios de avarias nos equipamentos
	47	Não há relatórios de alteração e modernização de equipamentos
47	Não há relatórios de registros e testes de equipamentos	
48	Não há relatórios de registros de monitoramento	
Não consta**	Apenas menciona a existência de relatório de inspeção	
	A tabela de leitura dos instrumentos está no item "Registros e controles"	

	As fichas de inspeção não foram anexadas
**Informações faltantes observadas, sem possibilidade de referência por página.	

Quadro 6. Registros de não conformidade - Volume IV PSB: Plano de Ação de Emergência

Página	Descrição da não conformidade
1	Não apresenta nome da barragem na capa
2	Sumário com erro de digitação e/ou estruturação
3	Revisão 2 (última) realizada em 2018 (dois anos de atraso)
3	Não consta detalhes da revisão 1
3	Quadro 1 irregular, não consta descrição das alterações
Não consta**	Não consta coordenador do PAE (nomeadamente)
	Não há foto ilustrativa da barragem
	Não consta entidade fiscalizadora
	Não consta resumo
4	Não tem índice de ilustrações, quadros e tabelas
4	Não consta nº de cópias entregues às entidades
Não consta**	Não segue a estrutura de texto recomendada pela ANA (divisão em seções)
	Não há informações sobre a classe da barragem
	Não tem folha de atualização do PAE ou indicação de páginas corrigidas
	Não há fluxograma de notificação
	Não há informações de área, estruturas e população a montante e jusante
7/8	Não consta traçado do acesso à barragem (por ambas as margens, como recomendado)
7/8	Faltam dados de nível do reservatório
Não consta**	Não há descrição das características hidrológicas da bacia
	Não há descrição das características geológicas da bacia
	Não há descrição das características sísmicas da bacia
	Não há caracterização da área da bacia
	Não há curva cota x área
	Não há curva cota x volume
	Não há caracterização da curva de vazão dos órgãos extravasores
	Não há caracterização da curva de esvaziamento do reservatório
	Guias de manutenção e operação e manuais não foram anexados
	Não há detalhamento da instrumentação
	Não há identificação das vias de acesso afetadas por cheias prováveis
Não há detalhamento de recursos materiais e logísticos disponíveis para emergências	
11/12	Não considera situação de atenção
Não consta**	Não há plano de identificação do nível de resposta às emergências
	Não são mencionados sistemas de alerta direto para a população

Página	Descrição da não conformidade
	Não há análise da área de inundação
	Não foram estabelecidas zonas de auto salvamento
	Não são mencionados dispositivos de alerta sonoro
	Responsabilidade de alerta de emergência totalmente repassada à defesa civil
	Não há análise da extensão da zona afetada que justifique o sistema de alerta adotado
	Não há procedimento de notificação de emergências aos órgãos estaduais e federais
	Não há plano de contato às estruturas à jusante e montante (e há uma ponte à jusante)
	Não há formulários de declaração, notificação e encerramento de emergências
	Não há fluxograma de notificação
	O mapa de inundação não está nos padrões exigidos pelo Manual do empreendedor da Agência Nacional de Águas (ANA). Apresenta-se apenas um croqui simplificado.
	Não há identificação do cenário modelado para o mapa de inundação
	Não há estudo ou análises sobre o mapa de inundação
	Não há identificação dos pontos vulneráveis à jusante
	Não são mencionados treinamentos da equipe interna
	Não há estabelecimento de divisão clara de responsabilidades
**Informações faltantes observadas, sem possibilidade de referência por página.	

Quadro 7. Registros de não conformidade - Volume V PSB: Inspeção de Segurança

Página*	Descrição da não conformidade
Não consta**	Não consta o responsável pela construção
	Não informa comprimento da barragem
	Não há histórico de incidentes e acidentes ou esclarecimentos sobre a não ocorrência
	Instrumentação desconsiderada
	Acionamento desconsiderado, mesmo sendo identificado em inspeções anteriores
	Avaliação de nível de perigo baseado na inspeção, porém a inspeção é incompleta, faltando os devidos comentários e registros fotográficos nos relatórios de inspeção
**Informações faltantes observadas, sem possibilidade de referência por página.	

Quadro 8. Registros de não conformidade - Volume VI PSB: Resumo Executivo

Página*	Descrição da não conformidade
Não consta**	Não engloba conteúdo mínimo exigido pela resolução 91/2012 (ANA), faltando:
	Período de realização do trabalho
	Listagem dos estudos
	Conclusões
	Recomendações
	Plano de ação e melhorias

****Informações faltantes observadas, sem possibilidade de referência por página.**

Nota-se, dos apontamentos emitidos nos quadros supracitados, significativa quantidade de não conformidades no atendimento de requisitos obrigatórios da documentação técnica da barragem, discordando das recomendações e boas práticas abordadas nos Manuais do Empreendedor Sobre Segurança de Barragens da ANA.

Visto que o conjunto de documentação técnica é insumo basilar para realização de estudos e avaliações inerentes à operação e segurança da barragem, sugere-se, portanto, o complemento e/ou retificação das não conformidades apontadas, justificando-se devidamente os casos de impossibilidade de atendimento aos requisitos obrigatório da legislação de referência.

Cabe reiterar que o escopo dos estudos e atividades objetos do contrato 4500045374, no âmbito da Revisão Periódica de Segurança da Barragem II, contemplaram a materialização de diversos documentos e informes que sanam parte das não conformidades indicadas no conjunto da documentação técnica do PSB da Barragem, de forma que devem ser incorporados, após a sua aprovação, ao acervo técnico de documentos da barragem e promovida a revisão dos volumes do PSB, compatibilizando as informações da presente Revisão Periódica de Segurança.

5. RESULTADO DA INSPEÇÃO DA BARRAGEM

Documento de referência: REL-209-2020-HID-03-00 – Relatório de Inspeção Especial de Segurança da Barragem

A realização da Inspeção Especial de Segurança na Barragem (ISE) II do Arroio Candiota foi procedida pela etapa de planejamento dos trabalhos de campo, abrangendo a revisão da documentação existente, coleta de dados básicos da barragem, leitura minuciosa dos relatórios de inspeção de segurança pretéritos e determinação do roteiro da inspeção. O planejamento da ISE foi estruturado conforme Guia de Orientação e Formulários Para Inspeções de Segurança de Barragem - Vol. II, do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragem, da Agência Nacional de Águas (ANA), tendo sido consolidado pela entrega de um plano de trabalho.

A ISE foi realizada nas instalações da barragem, durante os dias 20/07/2021 e 21/07/2021, pelos profissionais da equipe técnica multidisciplinar da Contratada. A inspeção da infraestrutura incluiu análise das condições atual de segurança, sinalização, construções locais, acesso à usina, acesso à barragem, técnica de operação, capacitação dos operadores, condições de iluminação, conformidades mecânicas e elétricas.

Na barragem de terra, foram inspecionados taludes de montante e jusante, crista, ombreiras, pé da barragem, região à jusante, interfaces entre estruturas e zona do reservatório. Foram inspecionados, ainda, os instrumentos de auscultação civil, incluindo leituras para análise de consistência dos dados apresentados e ensaios de permeabilidade para análise de eficiência dos instrumentos. Em campo, também foi realizado o levantamento topográfico cadastral da barragem, com vista a subsidiar informações para os estudos a serem desenvolvidos na RPSB.

À esquerda da barragem de terra, há o barramento de concreto que compõe vertedouro, no qual foram inspecionadas crista, ombreira, comportas, soleira, canal rápido, bacia de dissipação, canal descarga e faces de montante e jusante da estrutura de concreto armado do barramento, nas elevações não submersas. A inspeção das comportas contemplou todo o sistema mecânico e elétrico de acionamento (principal e de emergência) e suas implicações.

A metodologia empregada na inspeção foi análise visual, de forma que toda a superfície dentro do perímetro do empreendimento fosse coberta visualmente a uma distância de, no máximo, 10 metros, limitando-se aos trechos não submersos. Para isso, as estruturas e dependências foram percorridas em caminhada pela equipe, observando todas as zonas de diferentes perspectivas e, em intervalos regulares, atentando-se a todas as direções.

Para cada estrutura, área ou equipamento analisado, foi identificada a situação atual, acompanhada de registro fotográfico e, no caso de registro de anomalia, foram identificados magnitude e nível de perigo, em ficha de inspeção, sendo também apontadas possíveis causas e ações corretivas.

Nos capítulos a seguir são dispostas as análises das estruturas inspecionadas em campo, conclusões sobre a condição atual das estruturas analisadas e recomendações de melhorias possíveis para aprimoramento das condições de segurança e operação da barragem. Recomenda-se a leitura do documento de referência elencado no *caput* do presente capítulo, o qual apresenta descrição e registro fotográfico detalhados dos apontamentos resultantes da inspeção *in loco*. Os quadros abaixo indicam as legendas para o preenchimento adotado nas fichas de inspeção e para os registros fotográficos obtidos durante os serviços.






Quadro 9: Legendas das siglas da ficha de inspeção.

SITUAÇÃO:	MAGNITUDE:	NÍVEL DE PERIGO (NP):
NA – Este item N ão é A plicável	I - Insignificante	0 - Nenhum
NE – Anomalia N ão E xistente	P - Pequena	1- Atenção
PV – Anomalia constatada pela P rimera V ez	M - Média	2- Alerta
DS – Anomalia D esapareceu	G- Grande	3- Emergência
DI – Anomalia D iminuiu		
PC – Anomalia P ermaneceu C onstante		
AU – Anomalia A umentou		
NI – Este item N ão foi I nspicionado (Justificar)		

Quadro 10: Legenda do preenchimento da ficha de inspeção.

	Preenchimento conforme última ISR
	Preenchimento conforme inspeção 20 e 21/07 pela equipe técnica da ISB – Segurança de Barragens
1	NPA conforme última ISR
1	NPA conforme inspeção em 20 e 21/07 pela equipe da ISB

Quadro 11: Legenda dos registros fotográficos da ISE

Identificação	Situação identificada	Nível de perigo associado	Implicações de segurança e urgência das ações corretivas
	Sem anomalia	---	Não há nível de perigo associado e não há necessidade de ações corretivas
	Nenhum Perigo	0	Há anomalia, porém não compromete a segurança da barragem.
	Atenção	1	Não compromete a segurança da barragem em curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo.
	Alerta	2	Risco a segurança da barragem, devem ser tomadas providências para a eliminação do problema.
	Emergência	3	Risco de ruptura iminente, situação fora de controle, iniciar PAE e acionar órgãos competentes.

5.1. INFRAESTRUTURA OPERACIONAL

5.1.1. Acesso

O acesso à Barragem II é facilitado. A estrada não é pavimentada, mas encontra-se em bom estado de conservação e permite o acesso, inclusive, de veículos de grande porte. Existe um portão para a restrição de acesso ao sítio da barragem (Foto 1 e Foto 2), através da crista do maciço em terra, para a passagem de pessoas e veículos. O portão encontra-se em bom estado de conservação, contudo, a cerca junto ao lado esquerdo do portão, no sentido de entrada, encontra-se danificada. Esta cerca deverá ser reconstruída, limitando o acesso de pessoas pelo portão e impedindo o acesso de animais.



Foto 1: Portão de acesso - sentido de saída, em boas condições.

Foto 2: Portão de acesso - sentido de entrada, em boas condições.

5.1.2. Segurança local

Na análise local da Barragem II do Arroio Candiota, verificou-se que não há placas de sinalização de alerta nas estruturas, importantes na identificação visual de riscos, portanto, recomenda-se a locação da sinalização, conforme necessidade das estruturas. Também foi observado danificação da cerca junto ao portão, à montante, o que pode permitir acesso de estranhos à área da barragem. Recomendamos que a equipe de manutenção, sempre que deparar com esse fato, consertar imediatamente. Não foi verificado existência de câmeras de monitoramento das estruturas de barramento e operacionais, A segurança local é feita por rondas por equipe volante de vigilância. Apesar de não haver telefone fixo e o sinal de telefonia móvel ser instável, a comunicação entre equipes é estabelecida via radiocomunicadores, que permitem contato até à usina.

5.1.3. Documentação e Equipe técnica da Barragem

Da análise da documentação disponibilizada, verifica-se que não há documentação ampla de aspectos técnicos da barragem, ressaltando a falta de projeto executivo, “*as built*”, levantamentos topográficos, dados de cota x área x volume (CAV) atualizados e batimetria do reservatório. Dados técnicos disponibilizados, incluindo estudos geotécnicos, datam do período de projeto. Os relatórios de inspeção de segurança regular (ISR) carecem de detalhamento fotográfico e comentários acerca dos aspectos observados durante as inspeções de campo. Os registros de instrumentação (não apresentados os perfis de instalação) são escassos, apresentados apenas a partir do ano de 2020.

A equipe técnica é familiarizada com os procedimentos de manutenção e operação dos equipamentos, entretanto, dado o conflito de dados identificado no histórico de leituras dos instrumentos de auscultação civil, recomenda-se treinamento da equipe responsável pelo monitoramento da instrumentação de auscultação civil, com periodicidade bienal, ou sempre que houver troca de membros da equipe. Recomenda-se também que os manuais das comportas e equipamentos elétricos que foram enviados junto a documentação para análise, sejam disponibilizados in loco para a equipe de operação.

5.1.4. Estrutura operacional

A edificação de apoio, antigamente utilizada como moradia dos responsáveis pela segurança local, encontra-se quase que totalmente desativada, tendo sido acessado somente o cômodo que abriga o gerador a diesel para acionamento emergencial das comportas. Também existe uma guarita de segurança e uma abrigo de embarcações desativados. De forma geral, há diversas anomalias correlatas à manutenção civil dessas edificações, mas que não implicam em risco à segurança da barragem. Não foi notada a existência

de extintores de incêndio no local, o quais devem ser providenciados em quantidade e classes adequadas ao riscos existentes no local (instalações elétricas, combustível do gerador etc.).

Existem diversas árvores esparsas no sítio da barragem, inclusive junto à muros de concreto de contenção dos taludes do canal de aproximação e vegetação crescente sobre a calçada de acessos à montante do canal, todavia não foram notados danos estruturais causados pelo enraizamento das árvores. Deve-se fazer o monitoramento, de forma a visualizar potenciais anomalias, e a poda periódica para evitar que a vegetação impeça os acessos à bacia de aproximação.

5.1.5. Instalações elétricas

O sistema de acionamento das comportas é composto por quadro de operação principal das comportas e a válvula de abertura do vertedouro, que são protegidos por estrutura metálica, totalmente coberta e com grades laterais (Foto 3) que apresentam alguns pontos de corrosão, mas, de forma geral, se encontra em estado adequado. Entretanto, destaca-se que uma anomalia foi identificada na dobradiça inferior do portão que protege o acesso ao quadro de acionamento das comportas (Foto 4), a qual deverá ser substituída.



Foto 3: Sistema de acionamento das comportas – estrutura de proteção.

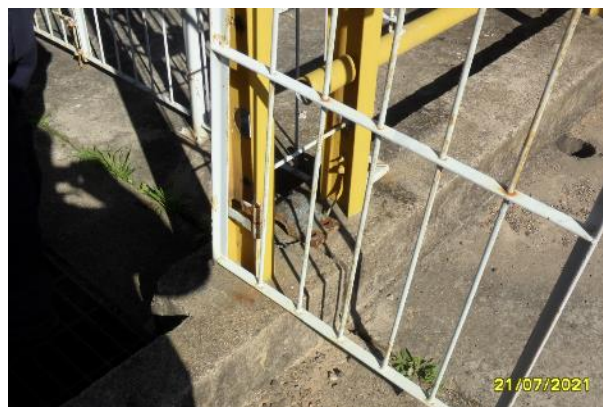


Foto 4: Portão para o acesso ao sistema de acionamento das comportas – Dobradiça prejudicada.

Durante a inspeção, não foi constatada falta de energia elétrica, sendo as instalações alimentadas por rede da concessionária CEEE, que chega à estrutura por fiação subterrânea, até o quadro geral de distribuição de cargas (externo), apresentado na Foto 5. As instalações elétricas estão em condições normais de operação, devendo apenas serem realizados serviços de adequação do quadro geral de distribuição de cargas da localidade, como segue: os elementos de aterramento devem ser recompostos, necessidade de instalação de DPS – dispositivos de proteção contra surtos no quadro geral; segregação da interligação dos condutores de neutro e terra; substituição de cabos conforme para não utilizar cores verde, verde-claro, verde com amarelo, azul e azul claro em circuitos de fase.



Foto 5: Estrutura – Quadro geral de distribuição cargas. Entrada de energia da companhia.



Foto 6: Estrutura – Quadro de energia de alimentação da Barragem.

O gerador a diesel (Foto 7 e Foto 8), abrigado na estrutura de alvenaria, conta com conjunto de células de bateria para partida, e é responsável pelo acionamento emergencial das comportas, para casos de falta de energia. Demais materiais, equipamentos e insumos necessários para os serviços são trazidos conforme demanda pelas equipes responsáveis. O quadro de energia interno (Foto 6), que se conecta ao gerador, está atualmente com parte da fiação exposta e se recomenda proteção, ademais, apresenta boas condições.



Foto 7: Gerador de energia – Situação externa, em boas condições.



Foto 8: Gerador de energia – Situação interna, em boas condições.

A iluminação geral da área da barragem é feita por postes alimentados pelo sistema principal de energia. Destaca-se que os postes sobre a estrutura do vertedouro apresentaram iluminação de baixa intensidade ou lâmpadas queimadas. É possível que a situação de baixa luminosidade se deva ao esgotamento da vida útil da lâmpada, enquanto as lâmpadas queimadas podem ser consequências das condições de exposição dos reatores das lâmpadas que recebem chuva e umidade. Por esse motivo, recomenda-se providenciar a troca das lâmpadas, proteção adequada dos reatores e, caso necessário, fazer a manutenção corretiva dos sistemas de iluminação existentes sobre o vertedouro.

Foram identificadas diversas caixas de passagem, em concreto, das instalações elétricas subterrâneas expostas (Foto 9 e Foto 10). Para essas caixas, recomenda-se que sejam providenciadas a limpeza do interior e tampas para proteção das instalações.



Foto 9: Caixa de passagem de instalações elétricas – fiação exposta e resíduos internos.



Foto 10: Caixa de passagem de instalações elétricas – fiação exposta.

A fim de se controlar o risco elétrico e suas indesejáveis consequências é recomendada a adoção de rotina de inspeção elétrica, com parâmetros mínimos a se observar:

- Alimentação elétrica: verificar rede aérea em média tensão aprumo de postes, vegetação nas proximidades da rede, isoladores, cruzetas e equipamentos conectados (chaves, transformadores);
- Cargas: verificar painéis elétricos, verificar proteções e acionamento das cargas, verificar acesso aos quadros, verificar segurança contra incêndio nos quadros e cargas;
- Aterramento elétrico e SPDA: verificar se SPDA instalado está danificado (elementos e captação e conexões ao aterramento elétrico);
- Redundâncias do sistema elétrico: verificar gerador diesel conforme orientações do fabricante (ensaios de manutenção), verificar e testar como os sistemas redundantes iniciam operação;
- Documentação elétrica e equipes de manutenção: manter projetos de implantação e/ou “as built” em versões atualizadas, verificar relatórios de inspeção passadas, tanto visual quanto por medições elétricas se há indicações de intervenção e/ou melhorias e status de tais melhorias, verificar equipe de manutenção e disponibilidade para atendimento.

O Quadro 12 traz a ficha de inspeção preenchida, com os itens inerentes à infraestrutura operacional.

Quadro 12: Ficha de inspeção – Infraestrutura Operacional.


COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO										MAGNITUDE	NP	
A. INFRAESTRUTURA OPERACIONAL														
1	Falta de documentação sobre barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
2	Falta de material para manutenção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Falta de treinamento do pessoal	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
4	Precariedade de acesso de veículos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Falta de energia elétrica	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Falta de sistema de comunicação eficiente	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
7	Falta ou deficiência de cercas de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
8	Falta ou deficiência nas placas de aviso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
9	Falta de acompanhamento da Gerência Regional	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Falta de manuais de operação e manutenção dos equipamentos Hidromecânicos e elétricos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários: Não há informações sobre o acompanhamento da gerência regional.														


5.2. BARRAGEM DE TERRA

5.2.1. Talude de Montante

No talude de montante foram identificados sinais de início de processo erosivo (Foto 11) em trechos pontuais do talude, mais próximo à interface com a crista. Recomenda-se, então, o monitoramento da evolução do processo durante a inspeção visual rotineira. Não foram constatados sinais de escorregamento, afundamento ou buracos no talude. Ressalta-se que, nesta oportunidade, foram inspecionados apenas os locais não submersos da barragem.

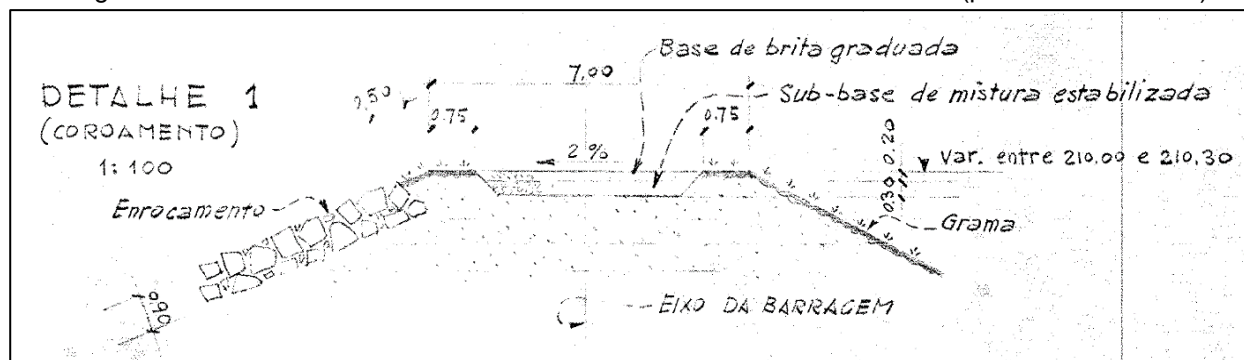


 **Foto 11:** Talude de montante – Processo erosivo na interface com a crista.

 **Foto 12:** Talude de montante - Rip-rap incompleto e/ou deslocado.

Os desenhos de projeto mostram que foi prevista uma camada de enrocamento de proteção dos taludes de montante até a cota da crista da barragem. Dessa forma, como não se teve acesso a qualquer documentação que justifique uma alteração nesse critério, entende-se que ao longo do tempo houve deslocamento desse enrocamento, como se pode observar na Foto 12, uma vez que há um trecho longo com *rip-rap* incompleto (como um dos objetivos do enrocamento de proteção no talude de montante é protegê-lo contra a ação das ondas, utiliza-se a nomenclatura *rip-rap* para a sua denominação). Devido à significativa dificuldade em recompôr o *rip-rap*, recomenda-se que seja mantida uma rotina de inspeções regulares no trecho mais elevado do talude de montante, buscando-se observar danos ao talude de montante devido à ação das ondas após eventos de cheia e danos contínuos devido à erosão decorrente da água da chuva.

Figura 13. Detalhe de camada de enrocamento a montante do barramento (planta CAN B-1031)



Há vegetação arbustiva de pequeno porte e esparsa, que não representa riscos à integridade do barramento, e as árvores e arbustos de maior porte anteriormente existentes, mencionados no histórico de inspeções regulares, foram podados. Não foi observada ocorrência de erosão nas ombreiras, porém, na

região da ombreira direita, há árvores e concentração de vegetações que não permitem inspeção adequada do local. Recomenda-se a remoção de vegetação do local, para que não haja criação de raízes no talude da barragem, que se tornem potencial acesso da água para o interior do maciço, o que poderia comprometer sua estabilidade. Também foi verificada a presença de cupinzeiro de pequeno porte. A ficha de inspeção do talude de montante é apresentada no Quadro 13.

Quadro 13: Ficha de inspeção – Talude de Montante.

B. BARRAGEM															
B.1 TALUDE DE MONTANTE															
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0	
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
3	Rachaduras/afundamento (laje de concreto)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
4	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1	
5	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
6	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0	
7	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
8	Canaletas quebradas ou obstruídas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
9	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0	
10	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		

5.2.2. Coroamento

O coroamento da barragem, desenvolve-se de forma retilínea até a chegada no bloco do vertedouro, onde há uma mudança de alinhamento, conforme se pode observar na Foto 13. Dessa forma, este item trata do coroamento da barragem apenas do trecho em terra. Foram observadas irregularidades na superfície da pista de rolamento (Foto 14).



Foto 13: Coroamento – Vista geral.



Foto 14: Coroamento – Crista com buracos na faixa transitável.

Não foram constatados processos erosivos significativos, que remetam a situações de alerta, ou rachaduras. A crista é parcialmente coberta com vegetação gramínea, e a faixa central (Foto 15) não tem proteção do solo, pois é utilizada para tráfego de veículos. Por análise tátil-visual, foi verificado que o material não parece ser friável e está bem compactado, de forma que não há indícios de processos erosivos e percolação d'água no maciço através da crista.

Na interface entre coroamento e talude de montante foi identificado um afundamento, próximo do portão de entrada e da ombreira direita, como apresentado na estrutura do talude à montante. Também foi constatado um arbusto de maior porte, junto ao poste de energia (Foto 16), ao qual se deve suprimir.



Foto 15: Coroaamento – Faixa transitável.



Foto 16: Coroaamento – Arbusto de maior porte junto ao poste de energia.

Quanto à estrutura da faixa transitável, não há meio-fio ou dispositivos de drenagem (canaletas), que é feita superficialmente, pela inclinação da crista em direção aos taludes. Por conta das depressões relatadas, há empoçamento da água, reforçando a necessidade de tratamento da anomalia. Também foram identificados formigueiros/cupinzeiros, os quais deverão ser removidos. O Quadro 14 traz a ficha de inspeção do coroaamento do barragem.

Quadro 14. Ficha de inspeção - Coroaamento

B.2 COROAMENTO		NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Rachaduras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Falta de revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
4	Falha no revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
5	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
6	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
7	Defeitos na drenagem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
8	Defeitos no meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
10	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Desalinhamento do meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
12	Ameaça de transbordamento da barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

5.2.3. Talude de Jusante

No talude de jusante foram observados afundamentos e buracos (Foto 17), árvores e arbustos (Foto 18), canaletas quebradas e/ou obstruídas (Foto 19) e formigueiros (Foto 20). Nesse sentido, recomenda-se a remoção de árvores e arbustos da região entre o maciço em terra e o bloco do vertedouro, a substituição das canaletas quebradas e a inspeção periódica da barragem com identificação e remoção de formigueiros. Salienta-se que as canaletas, se bem mantidas, têm a função de identificação de movimentação do barramento ao serem observados danos nas mesmas. Além disso, comenta-se que árvores, arbustos, formigueiros e tocas de animais devem ser eliminados, reduzindo-se, com isso, o desenvolvimento de caminhos preferenciais de água dentro do maciço, a partir dos quais podem iniciar processos de *piping*.



Foto 17: Talude de jusante – Presença de afundamento no talude indicado com linha pontilhada.



Foto 18: Talude de jusante – Vegetação na região próxima aos muros laterais, lado direito do canal rápido.



Foto 19: Talude de jusante – Canaleta de drenagem quebrada e obstruída.



Foto 20: Talude de jusante – Formigueiros identificados na estrutura.



Foto 21: Talude de jusante – Sinais de movimento de rastejo

A ombreira esquerda se encontrava tomada por vegetação de grande porte, de forma que não pode ser inspecionada. As canaletas de drenagem nessa interface do talude com a ombreira também se encontram obstruída por vegetação. A vegetação de proteção do talude de jusante encontra-se em bom estado, de forma que não foram observados pontos de erosão no talude ou falhas de proteção. Uma discussão mais aprofundada sobre o indício de movimento de rastejo, mostrado na Foto 21, é apresentada no item 12.5 do presente relatório. A ficha de inspeção do talude de jusante é apresentada no Quadro 15.

Quadro 15. Ficha de inspeção - Talude de Jusante

B.3 TALUDES DE JUSANTE														
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Rachaduras/afundamento (laje de concreto)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Falha na proteção granular	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Falha na proteção vegetal	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
7	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
8	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
9	Cavernas e buracos nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Canaletas quebradas ou obstruídas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
11	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
12	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
13	Sinais de fuga d'água ou áreas úmidas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
14	Carreamento de material na água dos drenos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

5.2.4.Região a Jusante da Barragem

Observou-se que há uma região bastante grande, junto ao pé do talude de jusante, tomada por vegetação arbustiva de grande porte, e formando uma região alagada (Foto 22 e Foto 23). É essencial que esta região esteja livre de vegetação (uma faixa de 20 metros do pé da Barragem) por diversos motivos, tais como:

- O maciço em terra possui um sistema de filtro em areia, que conduz a água que percola no maciço até a região a jusante deste. Havendo água na região a jusante, haverá maior dificuldade para a água sair do maciço de terra, o que pode ser prejudicial à estabilidade do mesmo.
- É importante que a água que percola pelo maciço seja conduzido para um ou dois locais, apenas, onde a mesma deverá ser medida. Essas medidas de vazão de percolação pela barragem devem ser monitoradas, de forma que o seu histórico permite confrontar os dados dos piezômetros de tubo aberto, identificando anomalias e/ou reflexos de anomalias importantes à segurança da barragem;
- A presença de umidade permanente neste local impossibilita que sejam identificados pontos de surgência de água e/ou áreas úmidas a jusante do barramento, indicando um excesso de água percolando pela fundação, o que também afeta a estabilidade maciço em terra.

Por esses motivos, é imprescindível para a segurança da barragem que esta vegetação seja removida desde a estrada de acesso até o muro lateral direito do canal rápido. Nesse sentido, o setor de Meio Ambiente da CGT Eletrosul deverá buscar viabilizar juridicamente a remoção de toda essa vegetação de grande e médio porte, com a correta remoção e acondicionamento das diferentes espécies, conforme necessidade ambiental. Os serviços de remoção deverão ser acompanhados por engenheiro civil, que deverá avaliar os efeitos da retirada das vegetações de maior porte e definir a melhor maneira de reconstituir os taludes, retornando-os às condições de projeto, com preenchimento dos espaços vazios, compactação e posterior proteção vegetal. As gramíneas deverão ser mantidas sempre cortadas, com altura não superior a 20 cm.



Foto 22: Região ao pé da barragem com presença de muita vegetação.



Foto 23: Talude de jusante – Região ao pé do talude com presença de muita vegetação.

Após a execução destes serviços, dever-se-á analisar a condição de umidade da região e surgência de água ao pé do talude de jusante e deverão ser projetados e executados serviços para a medição da vazão da água percolada pelo interior do barramento. A região a jusante da barragem, ao longo do arroio Candiota, é predominantemente rural, sem ocorrência de construções irregulares próximas ao leito do rio. A ficha de inspeção da região à jusante da barragem é apresentada no Quadro 16.

Quadro 16: Ficha de inspeção – Região a jusante da barragem.

B.4 REGIÃO A JUSANTE DA BARRAGEM														
1	Construções irregulares próximas ao leito do rio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Fuga d'água	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
3	Erosão nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
4	Cavernas e buracos nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0

5.3. INSTRUMENTOS DE AUSCULTAÇÃO

Durante a Inspeção de Segurança Especial (ISE), foram localizados os Piezômetros de Tubo Aberto (PZ-02, PZ-03 e PZ-04), Medidores d'Água (MNA-05 e MNA-06), 03 (três) Marcos Superficiais na crista da Barragem, 02 (dois) Níveis de Referência e 01 (um) Régua limnimétrica no reservatório. Foram feitas leituras e ensaios de permeabilidade (teste de vida) nos Piezômetros de Tubo Aberto e Medidores de Nível d'Água.

Demais instrumentos identificados nos projetos não foram localizados, embora tenham sido objeto de busca durante a inspeção pormenorizada de segurança especial. Referente a conservação, funcionalidade, conclusões e ações a serem tomadas, o conteúdo foi abordado no Relatório de Avaliação da Instrumentação (REL-209-2020-RDI-01-00) e sumarizado no Capítulo 6 do presente relatório.

O Piezômetro 02, foi localizado na região da ombreira direita, e está instalado na crista da barragem, à montante, compatível com o projeto. A Foto 24 apresenta o registro das condições externas do instrumento, que é protegido por uma caixa de concreto com tampa. Na Foto 25, podemos verificar, que o mesmo está danificado e após realização da leitura, verificou-se que o mesmo se encontra obstruído.



Foto 24: Piezômetro 02 – Condições externas.



Foto 25: Piezômetro 02 – Condições internas.

O Piezômetro 03 (Foto 26) e o Piezômetro 04 (Foto 27) foram localizados conforme especificações no projeto. Ambos estão sem identificação e proteção adequada. Outro fato importante é que não foram fornecidos registros de manutenções efetuadas nos instrumentos. Por esses motivos, recomenda-se providenciar a identificação, instalação da caixa de proteção e limpeza interna dos tubos. Maiores detalhes de como proceder a manutenção e especificações, são trados no Relatório de Avaliação da Instrumentação (REL-209-2020-RDI-01-00).



Foto 26: Piezômetro 03



Foto 27: Piezômetro 04

Referente aos Medidores de Nível d'Água, as condições encontradas são as mesmas que as dos Piezômetros de Tubo Aberto (PZ-03 e PZ-04) ou seja, sem identificação, proteção adequada e relatórios de manutenção. Os Medidores de Nível d'Água 05 (Foto 28) e 06 (Foto 29) foram localizados conforme projeto. Recomendamos providenciar a identificação, instalação da caixa de proteção e limpeza interna dos tubos. Maiores detalhes de como proceder a manutenção e especificações, são trados no Relatório de Avaliação da Instrumentação (REL-209-2020-RDI-01-00).



Foto 28: Medidor de nível d'água 05



Foto 29: Medidor de nível d'água 06

Os marcos superficiais da Barragem II do Arroio Candiota foram encontrados na inspeção em bom estado de conservação. Não foram fornecidas medidas de aferição de deslocamentos dos marcos. Recomenda-se, georreferenciamento dos marcos superficiais e realizar campanhas de leituras a cada 03 (três) meses.

A régua limnimétrica utilizada para medição de nível do reservatório, é pintada em muro de concreto próximo ao canal de aproximação do vertedouro, tem graduação decimal e se encontra em estado geral de boas condições. Entretanto, não é padrão ANA e não possui graduação acima da cota de 209,00 metros. Sugere-se a instalação de régua padrão ANA, com graduação de 2 em 2 centímetros, até a cota da crista, de forma a se ter um monitoramento mais assertivo do nível d'água do reservatório, e subsidiar a tomada de decisão quanto ao acionamento das estruturas extravasoras, com base nos níveis de resposta do monitoramento de nível. Há, ainda, um holofote direcionado à régua utilizada, possibilitando cumprir as leituras inclusive em turno noturno, como informado em registros e controles, no volume III do PSB de 2020.

A ficha de inspeção da instrumentação é apresentada no Quadro 17.

Quadro 17: Ficha de inspeção – Instrumentação.

B.5	INSTRUMENTAÇÃO	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
1	Acesso precário aos instrumentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Piezômetros entupidos ou defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
3	Marcos de recalque defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
4	Medidores de vazão de percolação defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Falta de instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
6	Falta de registro de leituras da instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
7	Deficiência no poço de alívio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

5.4. RESERVATÓRIO

Nas áreas de abrangência do reservatório na região próxima à barragem, não foram encontradas construções em áreas de proteção ou indícios de poluição e má qualidade da água. Foram identificados sinais de processo erosivo na margem direita do reservatório, entretanto, fora da área da barragem e distante, não caracterizando situação de alerta à segurança da barragem. Foi observado, ainda, a presença de gado circulando na área da barragem, não especificamente no perímetro do reservatório, mas a existência de fezes de bovinos em diversos locais. A Ficha de inspeção do reservatório é apresentada no Quadro 18.

Quadro 18: Ficha de inspeção – Reservatório.

D. RESERVATÓRIO														
1	Réguas danificadas ou faltando	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
2	Construções em áreas de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Poluição por esgoto, lixo, entulho, pesticidas etc.	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Indícios de má qualidade d'água	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
6	Assoreamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Desmoronamento das margens	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Existência de vegetação aquática excessiva	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Desmatamentos na área de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Presença de animais e peixes mortos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Gado pastando	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0

5.5. VERTEDOURO

5.5.1. Canal de Aproximação

Conforme apresentado na Foto 30 e na Foto 31, o canal de aproximação é composto por taludes revestidos com concreto armado, com saída perpendicular do reservatório com posterior realinhamento com o bloco do vertedouro. A parte visível do canal apresenta bom estado de conservação e as anomalias observadas não representam perigo à sua estabilidade estrutural ou demandam ações além de acompanhamento nas inspeções, no trecho não submerso do canal de aproximação.



Foto 30: Canal de aproximação – Saída do reservatório.



Foto 31: Canal de aproximação – Chegada no vertedouro.



Foto 32: Canal de aproximação – Anomalia observada em uma junta do revestimento do canal.

Foto 33: Canal de aproximação – Junta com infiltração e sinais de carbonatação.

Em uma aproximação da Foto 31, apresentada na Foto 32, é possível observar que a junta apresenta deslocamento do concreto, provavelmente oriundo de impedimento de movimentação higrotérmica. Nesta avaria pode-se observar armaduras expostas e logo abaixo a presença de vegetação na junta.

Não há qualquer risco do ponto de vista estrutural, entretanto as armaduras expostas podem ser submetidas a um processo de corrosão mais intenso, ampliando o deslocamento do concreto. Além disso, devido na condição de abertura atual da junta, pode ocorrer o carreamento de sólidos do tardo, o que pode vir a fragilizar o substrato de apoio da estrutura de concreto armado. Como medida corretiva, recomenda-se o corte das armaduras expostas e o arremate das juntas.

Também foi observado deslocamento de junta na região de montante do canal. Na margem esquerda do canal, foi observada uma junta com indício de infiltração. Na mesma região, existem sinais que podem indicar lixiviação do concreto. Recomenda-se monitorar visualmente para avaliar se há evolução no quadro.

O guarda corpo apresenta boas condições, sugere-se apenas pintura para maior durabilidade. Foi identificado vegetação crescente sobre os acessos dos muros laterais, e é necessário podá-las. Também há fezes indicando a circulação de animais de grande porte no local, que deve ser controlada. A ficha de inspeção do canal de aproximação é apresentada no Quadro 19.

Quadro 19: Ficha de inspeção – Canais de aproximação.

C. SANGRADOURO/VERTEDOURO														
C.1 CANAIS DE APROXIMAÇÃO E RESTITUIÇÃO														
1	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Obstrução ou entulhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Desalinhamento dos taludes e muros laterais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Erosões ou escorregamentos nos taludes	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
5	Erosão na base dos canais escavados	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Erosão na área à jusante (erosão regressiva)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Construções irregulares (aterro, casa, cerca)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

5.5.2. Bloco do Vertedouro

O vertedor é composto por uma soleira vertente tipo Creager, em concreto armado, executado em dois vãos simétricos, dotado de comportas tipo setor. A calha do vertedouro conta com muros laterais alinhados com os muros do rápido. O fechamento do vertedouro com o terreno conta com muros laterais de abraço.

De forma geral, encontra-se em bom estado de conservação, mas apresenta inúmeras manifestações patológicas. A maioria das manifestações patológicas são decorrentes do desgaste cronológico da estrutura, estão associadas à operação e têm implicação apenas em sua durabilidade. Como manifestações patológicas em relação à durabilidade do concreto, foi detectado um deslocamento na laje, brocas nas paredes, armaduras expostas e fissuras em inúmeros pontos.

A soleira do vertedouro, desde o ponto de contato com as comportas, encontra-se em bom estado de conservação. Há deslocamento de uma pequena camada de revestimento em concreto na região próxima ao pilar central, em ambos os lados (Foto 34). No entanto, não se conseguiu definir se esse deslocamento é recente, ou se a camada removida já consta de uma atividade de manutenção anterior. Funcionários responsáveis pela operação da barragem comentaram que desde o início do ano 2000 não houve atividades de manutenção nas estruturas de concreto, o que permite concluir que esta é uma anomalia constante.

As avarias superficiais do concreto são naturais das condições de operação da estrutura e isoladamente não demandam intervenção imediata, apenas o monitoramento da evolução. De forma semelhante, foram observadas armaduras expostas em algumas regiões do vertedouro (Foto 35 a Foto 39).



Foto 34: Soleira do vertedouro – Deslocamento na região próxima ao pilar central, à jusante da comporta 1.



Foto 35: Parede do vertedouro – armadura exposta, vista 01



Foto 36: Paredes do vertedouro – Armadura exposta, vista 02



Foto 37: Paredes do Vertedouro – Armadura exposta, vista 03



Foto 38: Bloco do vertedouro – Armadura exposta face inferior do tabuleiro, maior dano identificado..



Foto 39: Bloco do vertedouro – Armadura exposta face inferior do tabuleiro, maior dano identificado..

No caso das armaduras expostas, é recomendável que seja realizado o tratamento para evitar perdas de seção de aço, bem como novos deslocamentos no concreto. Comenta-se que, na realização de tais

atividades nas estruturas em concreto suscetíveis ao escoamento, dever-se-á remover uma camada de concreto da região para posterior execução do recobrimento, respeitando-se critérios atuais de durabilidade de estruturas em concreto, pois, caso seja executada uma camada muito superficial de concreto de proteção, esta camada poderá ser succionada e removida pelo escoamento. Também foram identificados sinais de carbonatação junto aos munhões (Foto 40) e vegetação em paredes (Foto 41).



Foto 40: Bloco do vertedouro – Carbonatação junto aos munhões metálicos.



Foto 41: Bloco do vertedouro – Presença de vegetação nas paredes.

Os processos de carbonatação em estruturas hidráulicas tendem a estabilizar, uma vez que o processo de carbonatação reduz a permeabilidade do concreto, reduzindo, conseqüentemente, a quantidade de material carregado do concreto. Dessa forma, as carbonatações devem apenas serem monitoradas ao longo do tempo. A vegetação nas paredes e juntas deverá ser removida. As vegetações surgem apenas onde há presença de água. No entanto, as suas pequenas raízes criam caminhos preferenciais de água e, conforme se fixam mais profundamente nas estruturas de concreto, há uma tendência a aumentar a umidade no local. Isso dificulta a visualização de surgências possivelmente importantes nas estruturas.

As fissuras encontradas nas estruturas (Foto 42 e Foto 43), provavelmente são oriundas da retração plástica e de secagem do concreto. Estas manifestações não indicam risco à estabilidade da estrutura, mas podem afetar sua durabilidade, pois tendem ao agravamento ao longo dos anos. Portanto, sempre que a abertura for superior a 0,4 mm é recomendável que as fissuras sejam tratadas, para evitar a passagem de agentes contaminantes que possam despassivar as armaduras e desencadear um processo degenerativo de corrosão.



Foto 42: Soleira do vertedouro – Fissura na laje de fundo do vertedouro.

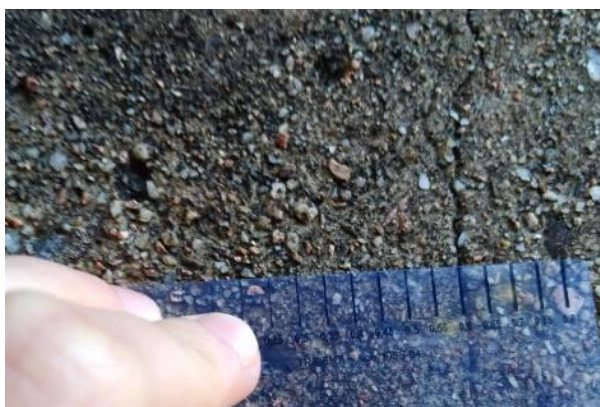


Foto 43: Bloco do vertedouro – Fissura com abertura de 0,6mm.

Em relação as patologias constatadas e apontadas no relatório REL-202-2020-HID-0300, como falhas nas juntas de concretagem, “bicheiras” e deslocamento, deve-se prosseguir com o monitoramento quanto a evolução ao longo do tempo.

Foi observado, ainda, o sistema de drenagem de águas de chuva incidentes na crista do vertedouro, que são escoadas superficialmente, por declividade da faixa transitável, às laterais da crista. Há uma canaleta lateral (Foto 44), que transporta as águas pluviais para pontos de queda.

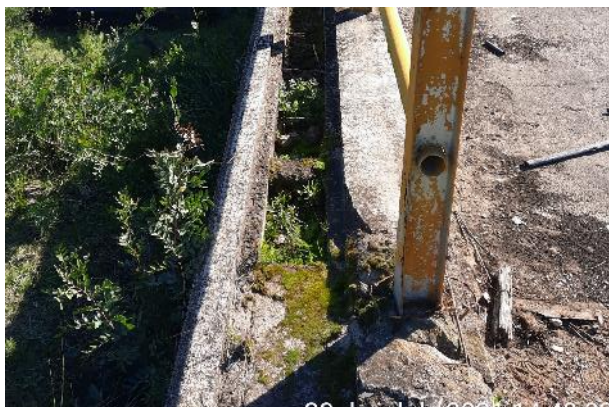


Foto 44: Bloco do vertedouro – Canaleta lateral de drenagem da crista.



Foto 45: Bloco do vertedouro – Pontos de lançamento e manchas de escoamento pluvial

Duas observações importantes podem ser feitas sobre o sistema de drenagem. Primeiro, a ligação entre a sarjeta na lateral da crista e a canaleta de transporte é feita por postos isolados de drenagem da sarjeta (Foto 45), o que pode gerar acúmulo de água entre os pontos em qualquer mínima irregularidade da superfície e, conseqüentemente, ser o motivo das marcas de umidade observadas na sarjeta. Recomenda-se que os conectores entre sarjeta e canaleta sejam desobstruídos ou que seja estudada a possibilidade de implantação de novos pontos de drenagem. Também se recomenda a desobstrução da canaleta lateral da crista do vertedouro, que apresenta quantidade considerável de vegetação.

Depois, não há pingadeira no beiral e não há canalização do volume de água lançado nos pontos de queda sendo lançado livremente sobre o concreto da estrutura do vertedouro o que, a longo prazo, pode gerar desgaste, devido ao atrito gerado no escoamento. Tal escoamento já apresenta conseqüências visíveis nas manchas deixadas na estrutura. Além da sujidade, provoca a degradação cronológica do concreto, favorecendo a despassivação das armaduras, o que pode gerar manifestações patológicas mais graves ao longo do tempo. Portanto, recomenda-se a canalização dos volumes coletados até o nível topográfico da área a jusante, onde devem ser devidamente lançados em canaletas que conduzam a água para áreas que recebam os volumes sem apresentar prejuízo à estrutura do vertedouro.

Observou-se, também, um problema que não está relacionado diretamente à segurança da barragem, mas, sim, à segurança dos operadores. Os últimos três degraus das escadas de acesso ao topo dos munhões não contam com proteção lateral (Foto 46 e Foto 47). Estes são, justamente, os degraus mais perigosos, pois é onde há uma mudança de patamar na descida ou subida. Dessa forma, recomenda-se que seja desenvolvido um estudo junto ao setor de segurança do trabalho da CGT Eletrosul para implementar dispositivos de segurança permanentemente, em concordância com as normas de segurança do trabalho.



Foto 46: Ausência de proteção nos últimos degraus das escadas de acessos aos munhões metálicos.

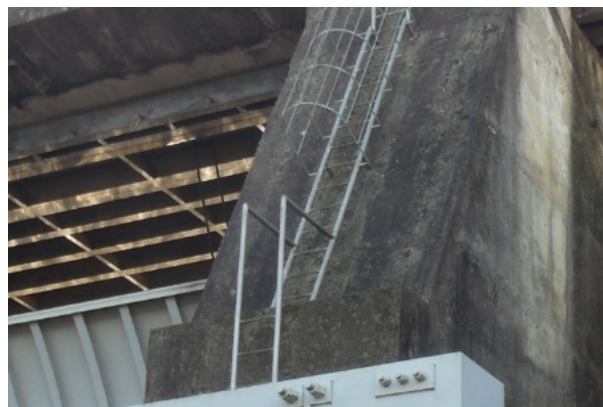


Foto 47: Bloco do vertedouro – Detalhe do trecho da escada sem proteção.

A ponte sobre o vertedouro (Foto 48) está em boas condições de conservação, sem qualquer risco associado a segurança estrutural. Entretanto, apresenta manifestações patológicas as quais devem ser tratadas para manutenção de sua durabilidade, como falhas no sistema de drenagem e selamento de juntas da pista do tabuleiro, além de armaduras expostas. O sistema de drenagem do tabuleiro da ponte sobre o vertedouro (Foto 49) apresenta os mesmos problemas já identificados anteriormente. Como medida corretiva, recomenda-se a substituição de todos os drenos e a incorporação de novos, distantes pelo menos 15cm da face inferior da laje, com a ponta cortada a 45 graus, para evitar respingos na estrutura.



Foto 48: Bloco do vertedouro – Ponte sobre o vertedouro.



Foto 49: Bloco do vertedouro – Sistema de drenagem do tabuleiro da ponte.

A falta de estanqueidade das juntas do tabuleiro (Foto 50) tem por consequência a formação de vegetações (Foto 51) e infiltrações de água da chuva, bem como a penetração de elementos que impedem a livre movimentação estruturais, gerando avarias nos lábios da junta. Como medida preventiva, recomenda-se realizar a limpeza das juntas com jato de água sob pressão, realizar o reparo no concreto (conforme necessidade) e aplicar um selador de junta, seguindo as especificações do fabricante.



Foto 50: Bloco do vertedouro – Junta sem selamento na crista do vertedouro.



Foto 51: Bloco do vertedouro – Presença de vegetação nas juntas da crista do bloco do vertedouro.

A ficha de inspeção da estrutura de fixação da soleira do vertedouro é apresentada no Quadro 20.

Quadro 20: Ficha de inspeção – Estrutura de fixação da soleira.

C.2 ESTRUTURA FIXAÇÃO DA SOLEIRA														
1	Rachaduras ou trincas no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
2	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
3	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
4	Descalçamento da estrutura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Juntas danificadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
6	Sinais de deslocamentos das estruturas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

5.5.3. Canal rápido e bacia de dissipação

A Foto 52 apresenta uma visão de montante para jusante do canal rápido (denominado em projeto como sendo o canal de descarga), enquanto a Foto 53 apresenta o canal visto de jusante. O rápido é formado por um canal de seção composta variável, com canal central que mantém a vazão sanitária, oriunda da descarga de fundo. Acima do canal central há um leito maior, de operação eventual, mediante acionamento das comportas de setor. Ao final do rápido, há um dissipador de energia. As laterais do canal e dissipador são limitadas por muros tipo gravidade.



Foto 52: Canal rápido – Vista geral de montante para jusante.



Foto 53: Canal rápido – Vista geral de jusante para montante.

A superfície em concreto apresenta um desgaste normal, quando comparado a estruturas com tempo de operação semelhante a esta, podendo-se considerar que está em bom estado de conservação, porém com

sinais de lixiviação, armaduras expostas, fissuras e deslocamento do concreto (Foto 54 a Foto 57). Como medida corretiva, recomenda-se para as avarias no concreto, aquelas que comprometem o recobrimento das armaduras, a reconstituição da seção. Para as demais anomalias, deve-se monitorar a evolução.



Foto 54: Canal rápido – Fissura na laje



Foto 55: Canal rápido – Armadura exposta na laje



Foto 56: Canal rápido – Armação exposta na laje, vista 2.



Foto 57: Canal rápido – Deslocamento do concreto na laje, no vértice da junta com os muros laterais

A foto 104 apresenta uma vista do canal rápido, seguido pela bacia de dissipação de energia, quando ambas as comportas estavam abertas, aproximadamente com 25 cm de abertura, cada uma. Além disso, a descarga de fundo estava com uma abertura que possibilitava uma vazão da ordem de 1,0 m³/s.

A Foto 59 é uma aproximação da Foto 58, onde se observa um escoamento assimétrico na bacia de dissipação de energia. Não foi possível encontrar drenos de saída de água da bacia de dissipação em cota inferior à cota de transbordamento da viga terminal. Assim, tal assimetria pode ser um indicativo de que há algum resíduo dentro da bacia de dissipação, que poderá ser prejudicial à estrutura caso haja um evento de cheia significativo, com importante ocorrência de dissipação de energia nessa estrutura.



Foto 58: Canal rápido e bacia de dissipação – Vista a partir da ponte sobre o vertedouro.



Foto 59: Bacia de dissipação – Aproximação da estrutura.

O fundo do dissipador de energia não pode ser inspecionado por estar submerso, mas de uma forma geral, as estruturas que compõem o rápido apresentam bom estado de conservação, não havendo risco associado à estabilidade estrutural. De qualquer forma, ressalta-se a necessidade de manutenção das patologias associadas às condições de conservação do concreto já descritas. A Foto 60 apresenta o escoamento sobre a soleira terminal da bacia de dissipação. Ressalta-se que não foram observados drenos saindo da bacia de dissipação, abaixo da crista da soleira, na região não afogada, restando ainda a dúvida de por onde ocorre a saída de água desta estrutura para a vazão permanente, quando não é atingida a cota de topo da viga terminal (também denominada *end-sill*). A Foto 61 apresenta a região a jusante da bacia de dissipação.



Foto 60: Bacia de dissipação – Vista do final da viga terminal (*end-sill*).



Foto 61: Bacia de dissipação – Vista da região a jusante da bacia de dissipação, do rio Candiota.

A ficha de inspeção do canal rápido e da bacia de dissipação é apresentada no Quadro 21.

Quadro 21: Ficha de inspeção – Canal rápido e bacia amortecedora.

C.3 RÁPIDO/BACIA AMORTECEDORA														
1	Rachaduras ou trincas no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
2	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
3	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
4	Ocorrência de buracos na soleira	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Presença de entulhos na bacia	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Presença de vegetação na bacia	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Falha no enrocamento da proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

5.5.4. Muros laterais

Ao caminhar pelo canal rápido, foram observadas anomalias nos muros laterais, tais como sinais de carbonatação, lixiviação, armaduras expostas, fissuras, deslocamento do concreto e juntas com presença de vegetações, apresentadas abaixo (Foto 62 a Foto 65)



Foto 62: Muros laterais – Sinais de lixiviação do concreto.

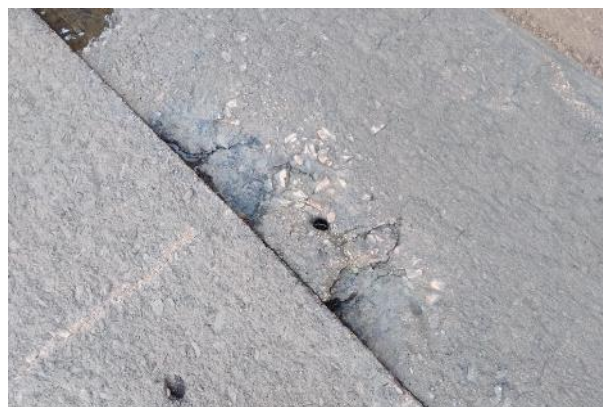


Foto 63: Muros Laterais – Deslocamento do concreto na base do muro, na junta com a laje



Foto 64: Muros laterais – Armação exposta.



Foto 65: Muros laterais – Armaduras de amarração de formas expostas.

Como medida corretiva, recomenda-se o tratamento das armaduras expostas com reconstituição das seções de concreto. No caso dos elementos metálicos de amarração de formas que estão remanescentes no tardo dos muros, recomenda-se o corte e o acabamento com material hidrofugante. Para os desgastes superficiais e lixiviações, recomenda-se apenas o monitoramento da evolução.

Os muros laterais também apresentam indícios de carbonatação e atividades de recuperação das estruturas de concreto. Contudo, conforme informado pela equipe de operação da barragem, não há registro de atividades com estas desde o início dos anos 2000, quando a equipe que atualmente opera o sistema iniciou as suas atividades no local.



Foto 66: Muros laterais – Muro lateral esquerdo, na face junto ao canal rápido.



Foto 67: Muros laterais – Junta do muro lateral esquerdo, face externa, junto a bacia de dissipação energia, com vazamento.

Foi observado um vazamento em uma das juntas do muro lateral esquerdo (Foto 66 e Foto 67). No entanto, este vazamento não apresenta perigo para a segurança da barragem, devendo apenas ser continuado o monitoramento desta anomalia. A ficha de inspeção dos muros laterais é apresentada no

Quadro 22.

Quadro 22: Ficha de inspeção – Muros Laterais.

C.4 MUROS LATERAIS		NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
1	Erosão na fundação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Erosão nos contatos dos muros	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Rachaduras no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
4	Ferrugem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
5	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0

5.5.5. Comportas

Puderam ser constadas significativas anomalias nas comportas, descritas nos itens a seguir. As comportas são identificadas estando de frente para a jusante (costas para o reservatório). A comporta 1 fica à direita e a comporta 2 fica à esquerda, sendo essa a nomenclatura que será utilizada no relato da inspeção de suas estruturas (REL-209-2020-HID-03-00). Sugere-se a consulta ao mencionado relatório de inspeção, para visualização completo do registro fotográfico das anomalias existentes nas comportas.

5.5.5.1. Comporta 01

- Falha de estanqueidade das vedações, apresentando significativo vazamento (Foto 68 e Foto 69);
- Sinais de oxidação, inclusive locais com estado avançado, e acumulação de limo, decorrentes da umidade constante proveniente dos vazamento (Foto 70 e Foto 71);



Foto 68: Comporta 1 – Detalhe do volume de vazamento e limo na parede do pilar central do bloco do vertedouro.



Foto 69: Comporta 1 – Área atingida pelo vazamento.



Foto 70: Comporta 1 – Canto inferior esquerdo com corrosão severa causada pelo excesso de umidade (por vazamento)



Foto 71: Comporta 1 – Região inferior horizontal.

- Na comporta 1 foram observadas frequentes áreas de corrosão, em diversos estágios. A região inferior da base da comporta apresenta estágio avançado de corrosão. A corrosão da região inferior atinge as mãos francesas, como apresentado na Foto 72 e Foto 73, em casos mais severos, ocasionando o desprendimento do aço em camadas. Na mesma região observam-se respingos de solda, indicando que a soldagem não foi executada corretamente e, ainda, não foi removida ou

pintada. O grau de severidade das corrosões encontradas indica que a anomalia já ocorre há um tempo considerável.



Foto 72: Comporta 1 – Umidade presente na viga de base.



Foto 73: Comporta 1 – Canto inferior esquerdo com corrosão severa causada pelo excesso de umidade.

- Na inspeção das hastes de sustentação da comporta 1 foi verificado, na haste à esquerda e nas bases dos mancais, que há sinais de perda de pintura e início de corrosão, conforme mostrado na Foto 74. Além disso, também na haste à esquerda, nota-se a falta de dois parafusos, como mostra a Foto 75.

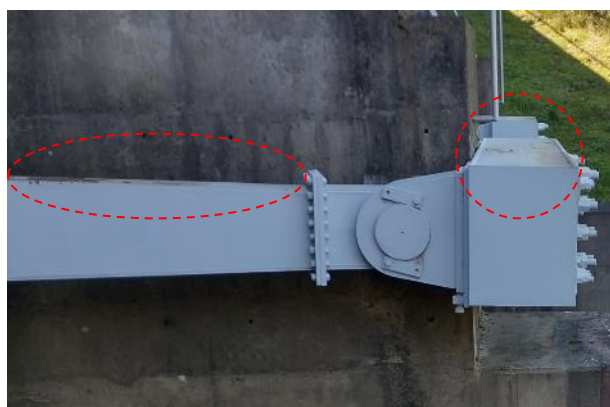


Foto 74: Comporta 1 – Deterioração da pintura e corrosão na haste esquerda.

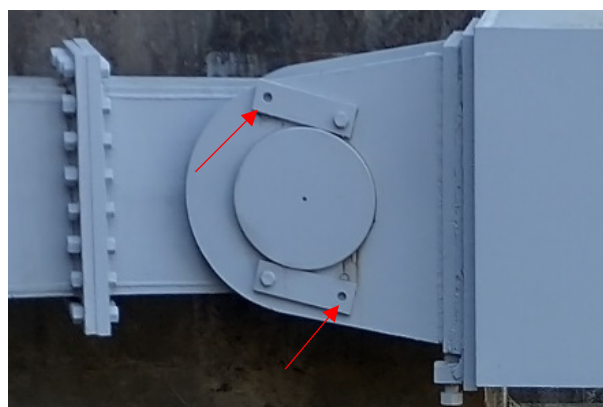


Foto 75: Comporta 1 – Parafusos faltantes na haste esquerda.

- A Foto 76, apresenta a haste esquerda da comporta, onde são destacados os pontos onde há parafusos que transferem os esforços de abertura das comportas. Estes parafusos conferem à

estrutura todo o suporte necessário à movimentação da comporta e, neles, foi constatado estágio avançado de corrosão severa, apresentados na Foto 77. Por consequência, seguramente, a capacidade de resistência mecânica dos parafusos está comprometida e, por esse motivo, comprova-se a necessidade de substituição imediata.



Foto 76: Comporta 1 – Indicação da posição dos parafusos analisados.



Foto 77: Comporta 1 – Detalhe da corrosão nos parafusos de sustentação.

5.5.5.2. Comporta 02

- Estado de vedação melhor do que o da comporta 01, todavia apresenta pequeno vazamento no lado esquerdo (Foto 78 e Foto 79);
- Também conta com corrosão de chapas e parafusos (Foto 80 Foto 81);

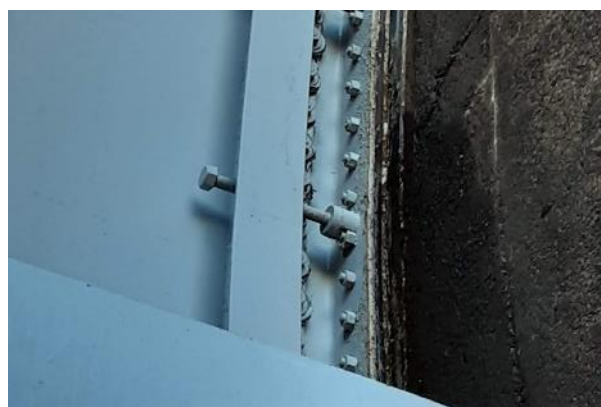


Foto 78: Comporta 2 – Umidade resultante da perda de capacidade de vedação.



Foto 79: Comporta 2 – Deterioração nas vedações.



Foto 80: Comporta 2 – Segunda viga com limo e corrosão.



Foto 81: Comporta 2 – Parte inferior da base em estado avançado de corrosão.



5.5.5.3. Teste de abertura e quadro de comando das comportas

Os testes foram realizados com a fonte de energia principal, e com o gerador a diesel. A movimentação manual das comportas 1 e 2 não pode ser efetuada porque não foi localizada a manivela. Destaca-se aqui, que a existência dessa possibilidade era desconhecida dos operadores e foi confirmada, ao se abrir o documento denominado “Instruções para Operação das Comportas de Candiota II” onde a manivela é o Item 12 do desenho 2142 – C.

A comporta 1 foi acionada e seu funcionamento ocorreu com suavidade e sem ruídos estranhos, tanto no teste com acionamento principal, quanto no teste com acionamento de emergência. A comporta 2 foi acionada, porém apresentou um ruído atípico. Não houve movimentação até que a equipe de manutenção elétrica, que participou dos testes de abertura e fechamento das comportas, atuou para resolver o problema.

O sistema de transmissão de movimentação das comportas são protegidos da chuva e umidade por capas de cobertura. Entretanto, na proteção do sistema de transmissão da comporta 2, foram identificados falta de parafusos, que foram substituídos por arames torcidos, presença de corrosão e deformação plástica das tampas que dão acesso ao sistema, o que compromete a proteção contra umidade e entrada da água da chuva. Foi verificado que, inclusive, no dia da inspeção, as engrenagens dos sistemas estavam úmidas. Então, é possível que as falhas de proteção do sistema de transmissão da comporta 2 sejam o motivo do ruído e pausa na movimentação durante o teste.

Para recuperação da eficiência do sistema de transmissão de movimentação da comporta 2 sugere-se providenciar novas tampas para as capas de proteção, com pintura adequada, providenciar fechamento adequado, com vedação nas tampas e providenciar manutenção do sistema de movimentação das comportas para remoção da umidade e prover nova lubrificação. Segundo informações do operador da comporta, os testes de rotina de abertura e fechamento são realizados somente na comporta 1, então, recomenda-se que os testes de rotina também passem a ser realizados na comporta 2. O teste de abertura da válvula do vertedouro ocorreu satisfatoriamente.

O quadro de comandos de abertura e fechamento das comportas possui sistema de iluminação para operação noturna, ao qual recomenda-se manutenção das lâmpadas fluorescentes localizadas nas paredes laterais, para garantir a funcionalidade (Foto 82 e Foto 83) em caso de necessidade.

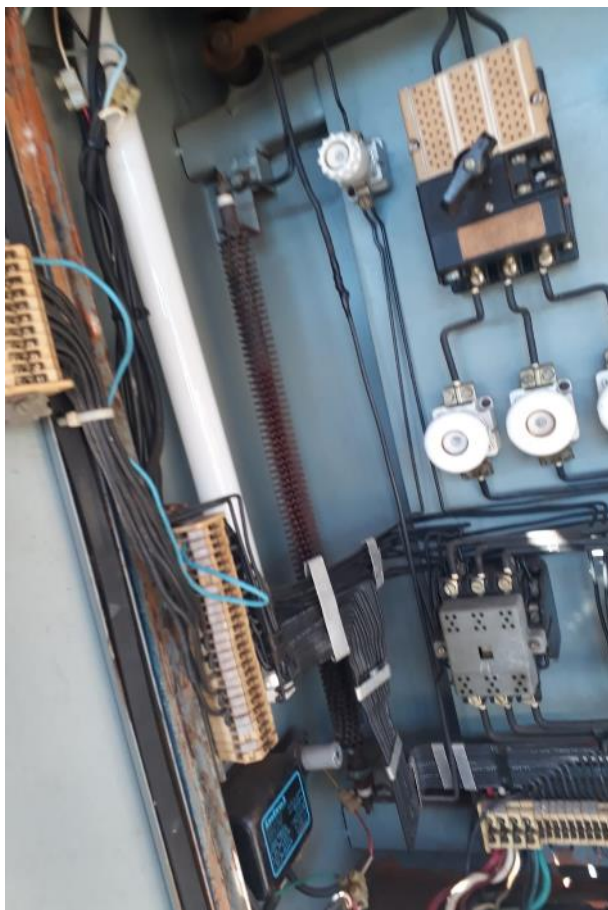


Foto 82: Quadro de comando das comportas – Lâmpada esquerda do quadro de comando.

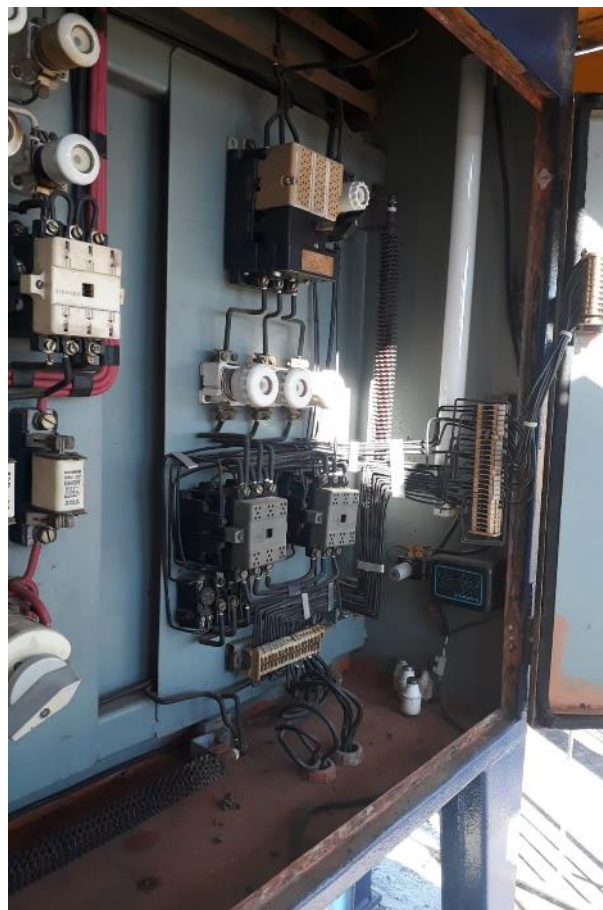


Foto 83: Quadro de comando das comportas – Lâmpada direita do quadro de comando.

A ficha de inspeção das comportas do vertedouro é apresentada no Quadro 23.

Quadro 23: Ficha de inspeção – Comportas do vertedouro.

C.5 COMPORTAS DO VERTEDOURO														
1	Peças fixas (corrosão, amassamento da guia e falha na pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
2	Estrutura (corrosão, amassamento e falha na pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
3	Defeito das vedações (vazamento)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
4	Defeito das rodas (comporta vagão)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Defeitos nos rolamentos ou buchas e retentores	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Defeito no ponto de içamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

5.5.6. Torre de tomada d'água

No bloco do vertedouro, há uma abertura entre as comportas, em cota mais baixa, onde é feita a captação de água para a descarga permanente. Esta descarga é controlada por uma comporta, com controle manual junto à crista da barragem. O sistema em operação pode ser, que pode ser visualizado na Foto 84.



Foto 84: Canal de descarga – Em operação, junto com a abertura parcial (25 cm) de ambas as comportas.



Foto 85: Região a montante da tomada d'água – Comporta com função de “stop-log”.

Foram feitos testes de movimentação da comporta desde a sua abertura normal, até o seu fechamento e retorno para a posição normal, não tendo sido registrada nenhuma dificuldade de operação. Contudo, caso seja necessária alguma atividade de manutenção nesta comporta que controla o fluxo de água, será necessário utilizar a comporta de vedação da região a montante da tomada d'água (Foto 85), a qual se encontra sem movimentação e manutenção há muito tempo. Por este motivo, a equipe de operação presente durante a inspeção optou por não a movimentar.

Nesse sentido, recomenda-se que sejam efetuadas as devidas manutenções nesta comporta, permitindo o seu uso, caso seja necessária alguma atividade de manutenção na comporta de controle da descarga permanente. As fichas de inspeção relativas à tomada d'água são apresentadas do Quadro 24 ao Quadro 28.

Quadro 24: Ficha de inspeção – Entrada da tomada d'água.

E. TORRE DA TOMADA D'ÁGUA													
E.1 ENTRADA													
1	Assoreamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
2	Obstrução e entulhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
3	Tubulação danificada	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
4	Registros defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
5	Falta de grade de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
6	Defeitos na grade	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
Comentários: Não existe uma tubulação na tomada d'água ou registros.													

Quadro 25: Ficha de inspeção – Tomada d'água - Acionamento.

E.2 ACIONAMENTO													
1	Hastes (travada no mancal, corrosão e empenamento)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
2	Base dos mancais (corrosão, falta de chumbadores)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
3	Falta de mancais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
4	Corrosão nos mancais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
5	Falhas nos chumbadores, lubrificação e pintura do pedestal	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
6	Falta de indicador de abertura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
7	Falta de Volante	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G

Quadro 26: Ficha de inspeção – Comportas da tomada d'água.

E.3 COMPORTAS													
1	Peças fixas (corrosão, amassamento da guia e falha na pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
2	Estrutura (corrosão, amassamento e falha na pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
3	Defeito das vedações (vazamento)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
4	Defeito das rodas (comporta vagão)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
5	Defeitos nos rolamentos ou buchas e retentores	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
6	Defeito no ponto de içamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
Comentários: Não foram inspecionadas as partes da comporta abaixo da cota da crista da barragem.													

Quadro 27: Ficha de inspeção – Estrutura da tomada d’água.

E.4 ESTRUTURA														
1	Ferragem exposta da torre	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Falta de guarda corpo na escada de acesso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Deterioração do guarda corpo na escada de acesso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Ferragem exposta na plataforma (passadiço)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Falta de guarda corpo no passadiço	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Deterioração do guarda corpo no passadiço	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Deterioração do portão do abrigo de manobra	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
8	Deterioração do tubo de aeração e “by-pass”	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Deterioração da instalação de controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
Comentários:														
Deterioração da instalação de controle: há pequenas anomalias nas juntas que passam no local de controle da comporta.														

Quadro 28: Ficha de inspeção – Tomada d’água - “Stop-log”.

F. CAIXA DE MONTANTE (BOCA DE ENTRADA E “STOP-LOG”)														
1	Assoreamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Obstrução e entulhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Ferragem exposta na estrutura de concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Deterioração no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Falta de grade de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Defeitos na grade	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Peças fixas (corrosão, amassamento da guia e falha na pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Estrutura do “stop-log” (corrosão, amassamento e falha na pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
9	Defeito no acionamento do “stop-log”	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
10	Defeito no ponto de içamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
Comentários:														
Durante a inspeção, observou-se que a comporta stop-log está deteriorada. Dessa forma, a equipe de operação preferiu não movimentar esta comporta com o risco de não conseguir içá-la novamente. Recomenda-se a sua recuperação.														

5.6. CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE PERIGO GLOBAL DA BARRAGEM (NPGB)

A inspeção foi feita segundo o GUIA DE ORIENTAÇÃO E FORMULÁRIOS PARA INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE BARRAGEM (ANA, 2016) e seguindo os demais preceitos e boas práticas relativas às inspeções de segurança de barragens vigentes no meio técnico. Conforme discorrido ao longo do presente capítulo e detalhadamente apresentado no relatório REL-209-2020-HID-03-00, foram constatadas diversas anomalias nas instalações da barragem, em significativa quantidade se comparadas aos relatórios de inspeções regulares pretéritos disponibilizados pelo empreendedor.

Em parte, a discrepância obtida entre os eventos de inspeção pode ser explicada pelo fato de a inspeção a que se refere o presente documento ter sido realizada de forma pormenorizada, por equipe multidisciplinar, de modo que os especialistas de diversas disciplinas da área de engenharia participantes, conseguem, dentro de suas especialidades, identificar de maneira extensiva e mais minuciosa as anomalias e incompatibilidades existentes nas instalações da barragem, comparativamente ao escopo e quadro de profissionais normalmente empregados em uma inspeção de segurança regular.

O Nível de Perigo das Anomalias (NPA) foi classificado segundo Art. 11 da Res. 236/2017:

“Art. 11. A classificação do Nível de Perigo da Anomalia (NPA) deverá constar no Relatório da ISR e será definida de acordo com as seguintes orientações:

Normal: quando determinada anomalia não compromete a segurança da barragem;

Atenção: quando determinada anomalia não compromete de imediato a segurança da barragem, mas, caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada;

Alerta: quando determinada anomalia compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para a sua eliminação;

Emergência: quando determinada anomalia representa alta probabilidade de ruptura da barragem.”

Conforme documentado nas fichas de Inspeção, para cada um dos itens inspecionado, e em particular para aqueles que onde se detectou algum tipo de anomalia, foram atribuídas as suas respectivas situações, magnitudes e nível de perigo associado. Desta forma, em consulta as fichas preenchidas, verifica-se que há anomalias classificadas em nível de Atenção.

O Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB), por sua vez, é uma gradação dada à barragem em função do comprometimento de sua segurança decorrente do efeito conjugado das anomalias. Transcreve-se da Resolução ANA 236/2017 (grifo nosso):

“Art. 12. O Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB) deverá constar no Relatório da ISR, considerando as seguintes definições:

Normal: quando o efeito conjugado das anomalias não compromete a segurança da barragem.

Atenção: quando o efeito conjugado das anomalias não compromete de imediato a segurança da barragem, mas caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada.

Alerta: quando o efeito conjugado das anomalias compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para eliminá-las.

Emergência: quando o efeito conjugado das anomalias representa alta probabilidade de ruptura da barragem.

Parágrafo único. O NPGB será no mínimo igual ao NPA de maior gravidade, devendo, no que couber, estar compatibilizado com o Nível de Resposta previsto no art. 27.”

O entendimento da equipe técnica da Vieira e Fernandes Vieira é de que, considerando as anomalias detectadas durante a inspeção visual detalhada, há anomalias que devem ser monitoradas quanto à sua evolução e outras sob as quais devem ser tomadas ações corretivas, com vistas a evitar a progressão das mesmas e evitar potenciais situações de risco mais elevado. Não obstante, não se elencaram anomalias que indiquem situação de risco iminente à barragem, quer seja em relação a sua segurança ou a sua operação. Uma vez que houve anomalias classificadas com NPA 1 (Atenção), conforme Art. 11 da Res. 236/2017, e de forma a manter a concordância com o parágrafo único do Art. 12 da mesma resolução, o **NPGB a ser adotado é de ATENÇÃO**, pois se entende que o efeito conjugado das anomalias não compromete a segurança da barragem no curto prazo, porém as circunstâncias observadas devem ser monitoradas quanto à evolução e sanadas conforme as recomendações emitidas.

5.7. PLANO DE AÇÃO DE MELHORIAS E CORREÇÃO DAS ANOMALIAS

A partir da identificação e classificação das anomalias apontadas no relatório de Inspeção Especial de Segurança da Barragem (REL-209-2020-HID-03-00), foram definidas as ações corretivas e/ou mitigadoras, estruturadas de maneira integrada e complementar ao conjunto global de estudos e análises empreendidas no tocante à Revisão Periódica de Segurança da Barragem II do Arroio Candiota.

As ações e serviços necessários para sanar as anomalias e reforçar as condições de segurança e operação da barragem são apresentadas em formato tabular no Capítulo 17, conjuntamente com o nível de prioridade e prazo de execução sugeridos.

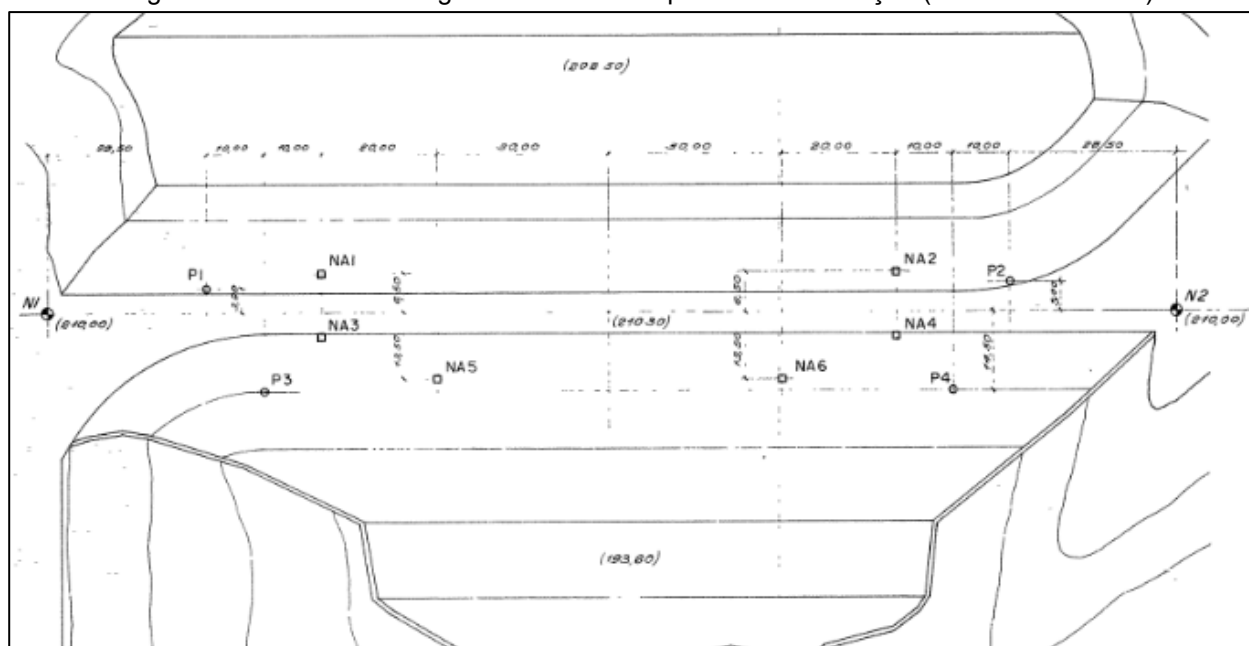
6. AVALIAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO

Documento de referência: REL-209-2020-RDI-02-00 – Relatório de Avaliação da Instrumentação

6.1. CONDIÇÕES DA INSTRUMENTAÇÃO EXISTENTE

Os projetos fornecidos pelo empreendedor, indicam a especificação de conjunto de 06 medidores de nível d'água, para monitoramento do nível freático no interior do maciço, e de 04 piezômetros, instalados na fundação da barragem, para verificação das poropressões. Os instrumentos em projeto estão espacializados em seções no talude de montante, na crista e talude de jusante. A Figura 14 traz a representação da instrumentação prevista, sendo que projeto também são apresentados os perfis e cortes transversais das seções instrumentadas.

Figura 14. Planta da Barragem de Terra II – Aparelhos de Medição (CEEE - abril/1971)



Conforme já exposto anteriormente, durante a inspeção especial de segurança realizada em campo, foram localizados apenas os piezômetros e medidores de nível listados no Quadro 29, onde as coordenadas e cotas apresentadas são atualizadas de acordo o levantamento topográfico empreendido nos serviços. Também foram localizados três marcos de deslocamentos superficiais na crista da barragem. Demais instrumentos identificados nos projetos não foram localizados, embora tenham sido objeto de busca minuciosa.

Quadro 29. Instrumentação encontrada durante ISE

Nº do instrumento	Coordenadas (UTM)		Cota de Instalação (m)	Profundidade de Instalação (m)	Cota de Topo (m)
	Latitude	Longitude			
PZ-02	6507296,62	246349,71	204,77	4,85	209,62
PZ-03	6507225,87	246311,62	193,47	11,30	204,80
PZ-04	6507269,51	246423,43	189,42	15,34	204,76
MNA05	6507237,64	246339,18	195,78	9,40	205,18
MNA06	6507259,40	246395,11	195,15	9,90	205,50

Os instrumentos encontravam-se sem aparentes danos nas tubulações, todavia a identificação em campo não estava adequada. Foram feitas as leituras nos instrumentos e ensaio de permeabilidade (teste de vida) nos PZ's e MNA's, de modo a validar os dados que foram fornecidos e também a funcionalidade dos mesmos.

A análise dos resultados dos ensaios de permeabilidade, apesar da perda lenta de carga, somados as medidas de profundidades e avaliação do comportamento do instrumento perante o seu histórico de leituras, permite concluir que os PZs 03 e 04, apresentam normalidade de operação. O PZ-02 encontrava-se obstruído próximo a profundidade de 4,85 metros. Ao analisarmos os resultados apresentados dos testes nos MNAs, também ocorreu perda lenta de carga, todavia não há indícios de obstruções desses instrumentos.

6.2. ANÁLISE DOS DADOS DE INSTRUMENTAÇÃO

Apesar de os instrumentos terem sido instalados quando da construção da barragem, na década de 70, apenas recentemente passaram a ter suas leituras aferidas, a partir de janeiro/2020, de forma que o histórico de dados da instrumentação é incipiente frente ao tempo de operação da barragem e não permite fazer constatações quanto a situações anômalas que podem ter ocorrido ao longo do tempo em que não se tem os dados de leitura disponíveis.

Conforme relatos da equipe operacional da barragem, os instrumentos citados foram localizados após a realização de um serviço de capina generalizada na barragem, de forma que os indícios, corroborados pela ausência de registros de leituras e de serviços de inspeção/manutenção dos instrumentos, são de que tenham permanecidos sem inspeção por vários anos. Sendo assim, as inferências a seguir apresentadas são limitadas ao período de leituras disponíveis e a potenciais fatores pretéritos, não identificados, que podem ter tido influência no comportamento da instrumentação.

A Figura 15 e a Figura 16 mostram a relação das cotas piezométricas dos PZ 03 e 04, com a pluviometria regional e nível d'água no reservatório, respectivamente. É possível notar que as leituras, durante o período de dados disponíveis, encontram-se estáveis e sem evidente correlação entre a piezometria e volumes de pluviometria ou níveis do reservatório, sugerindo, portanto, estarem as subpressões na fundação controladas e o trecho horizontal do filtro de areio em boas condições de funcionamento.

Figura 15. Cota piezométrica correlacionada com a pluviometria – PZ 03 e 04

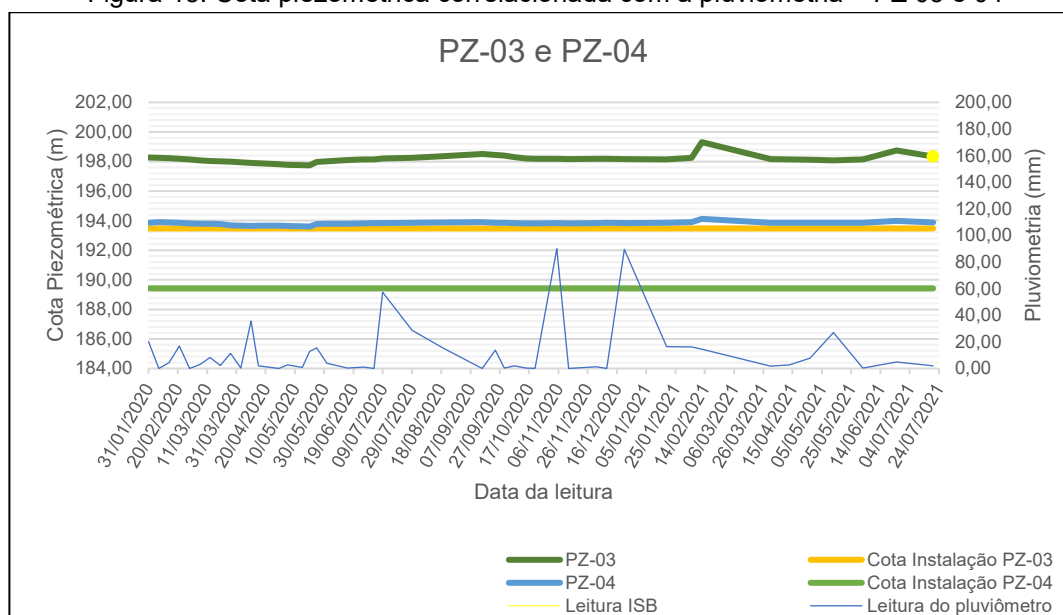
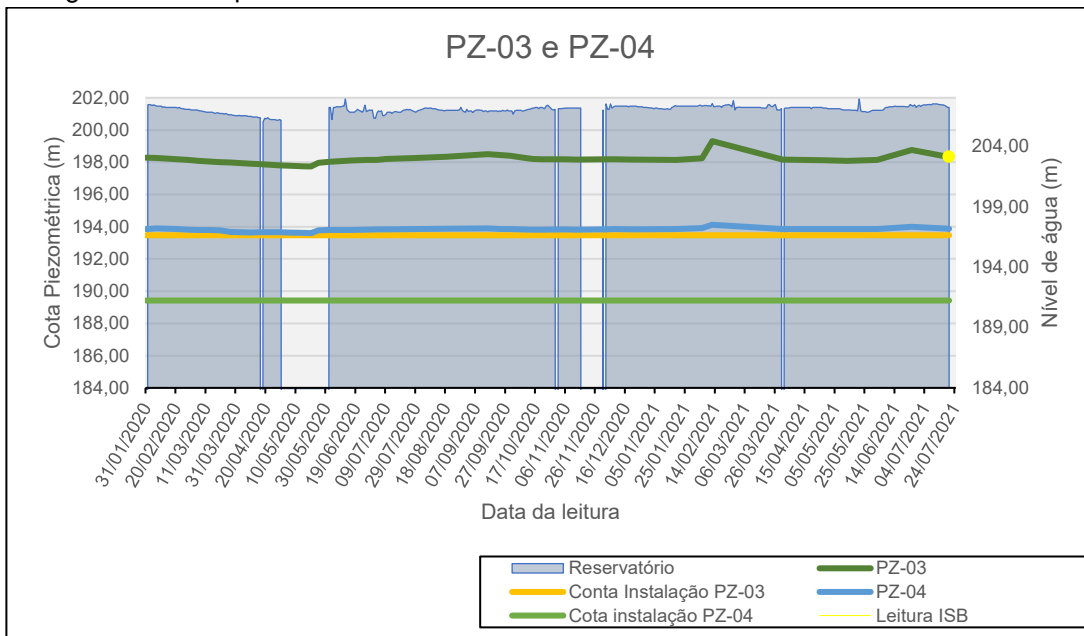


Figura 16. Cota piezométrica correlacionada com o nível do reservatório – PZ 03 e 04



A Figura 17e a Figura 18, mostram a relação das cotas da linha freática dos MNA 05 e 06, com a pluviometria regional e nível d'água no reservatório, respectivamente. As leituras do MNA-06 também apresentam comportamento estável, apresentando acréscimo na medição da linha freática quando de precipitações superiores a 50 mm. Já o MNA-05, por sua vez, mostrou comportamento oscilante, com elevada variação nas leituras e sem clara correlação com a pluviometria.

No entanto, uma vez que não existem dispositivos para medição das vazões percoladas internamente e que permitam a observação de ocorrência de carreamento de material do interior do barramento ou correlação com os valores de leitura da instrumentação de auscultação existente, resta inconclusiva a análise quanto a eventuais problemas de funcionamento do filtro interno. Ressalta-se, porém, que não foram verificadas surgências no talude de jusante que indicassem criticidade da linha freático no interior do maciço.

Figura 17. Cota linha freática correlacionada com a pluviometria – MNA 05 e 06

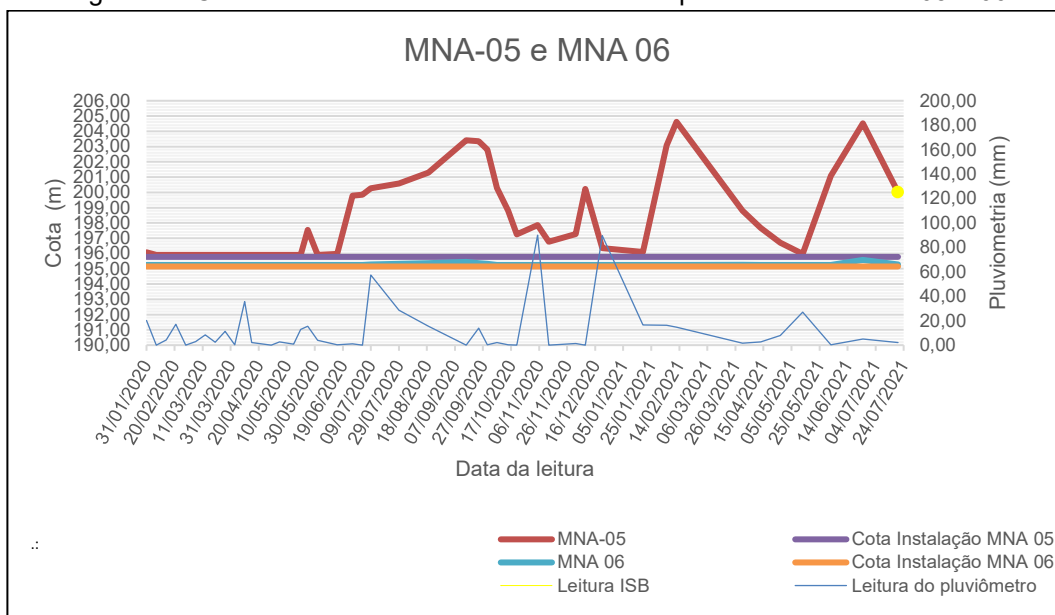
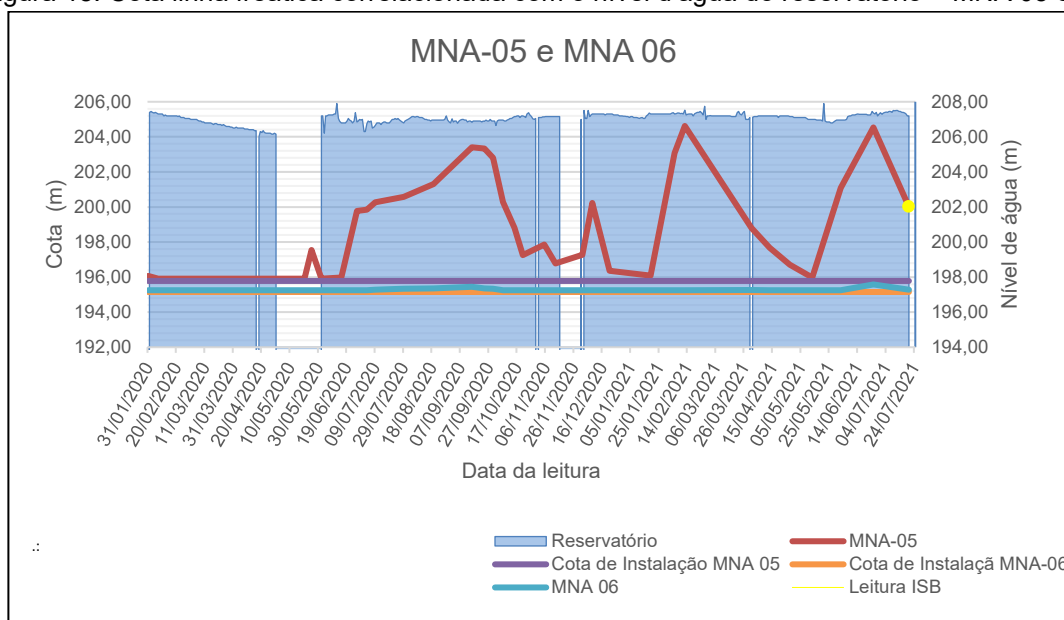


Figura 18. Cota linha freática correlacionada com o nível d'água do reservatório – MNA 05 e 06



Dessa forma, não se pode atribuir confiabilidade significativa dos dados de leitura disponibilizados e não há como se realizar uma avaliação conclusiva do comportamento da instrumentação frente ao período operacional da barragem. Para a completa análise do comportamento de todas as estruturas que compõe o barramento (fundação, tapete drenante, filtro vertical e maciço compactado), é imprescindível a instalação de novos instrumentos (PZA's e MNA's) nas seções de maior relevância, conforme abordado no item a seguir.

6.3. INSTALAÇÃO DE NOVA INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCULTAÇÃO

O relatório REL-209-2020-RDI-02-00, juntamente com seus anexos, traz o detalhamento da locação em planta, seções transversais, detalhes construtivos e demais especificações inerentes ao novo conjunto de instrumentos recomendados para instalação.

A formulação do arranjo da instrumentação sugerido foi baseada na necessidade de se criarem seções instrumentadas a serem monitoradas de forma a permitir se detectar a ocorrência de eventuais anomalias como fissuras, trincas, abatimento, entre outros e envolve o acompanhamento do desempenho das diversas obras que compõem o Barramento, a saber: os maciços de terra, as fundações e as ombreiras da Barragem, o sistema extravasor, o sistema de drenagem e as estruturas de concreto que o integram.

Para o maciço da barragem, deverão ser monitorados:

- As poropressões do maciço da Barragem para avaliação das subpressões e dos gradientes hidráulicos atuantes através de 13 Piezômetros de Tubo Aberto (PZA);
- A posição do nível freático da Barragem através de 10 novos Medidores de Nível d'Água (MNA);
- Os deslocamentos do aterro da Barragem por meio das inspeções visuais e através de 03 novos Marcos Superficiais (MS) instalados no talude de jusante da Barragem (em complementos aos existentes na crista) para monitoramento de recalques lineares e movimento de rastejo;
- A quantidade de água percolada no dreno de pé, a jusante, através de 03 Medidores de Vazão (MV).

Para o Vertedouro, deverão ser monitorados:

- Recalque/deslocamentos das estruturas de concreto através da instalação de 03 Marcos Superficiais (MS) na crista (pista de rolamento);
- As poropressões do maciço dos taludes laterais (jusante) dos muros do vertedouro para avaliação das subpressões e dos gradientes hidráulicos atuantes através da instalação de 04 Piezômetros de Tubo Aberto.

O relatório da avaliação da instrumentação traz o detalhamento da locação dos instrumentos e cotas de instalação, os quais são apresentados de forma simplificada na Figura 19 e a Figura 20. Consta também, anexo ao relatório REL-209-2020-RDI-02-00, o conjunto de especificações técnicas de cada tipo de instrumentos.

Figura 19. Locação dos novos Instrumentos na Barragem

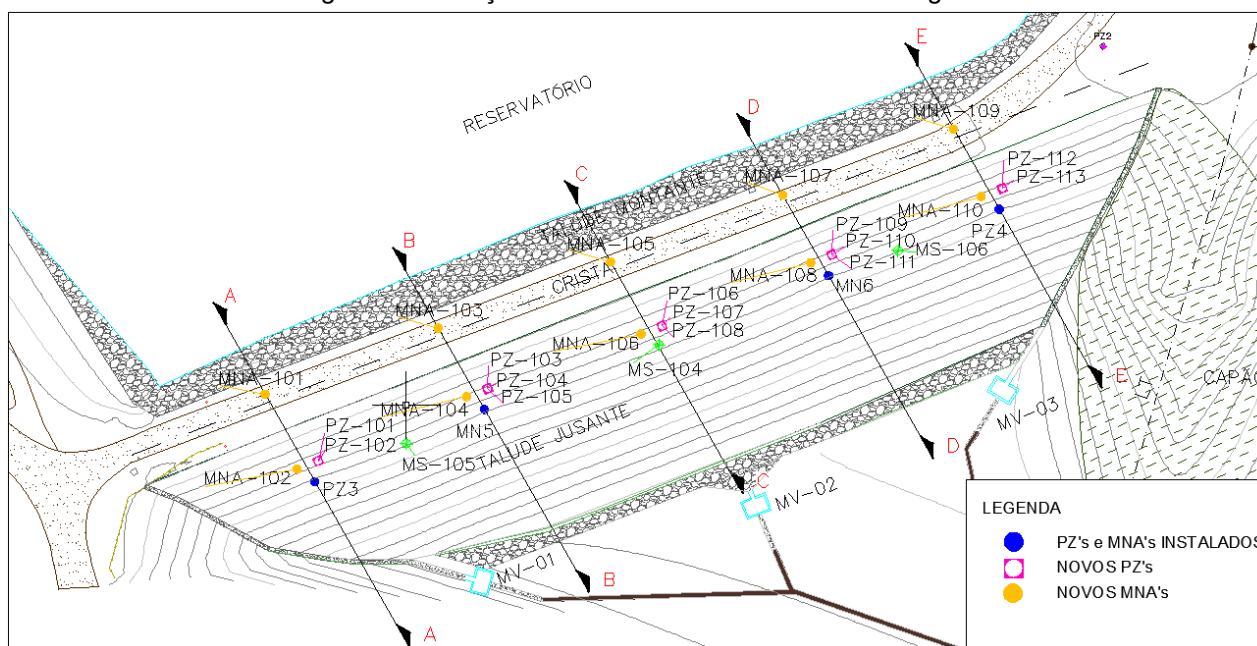
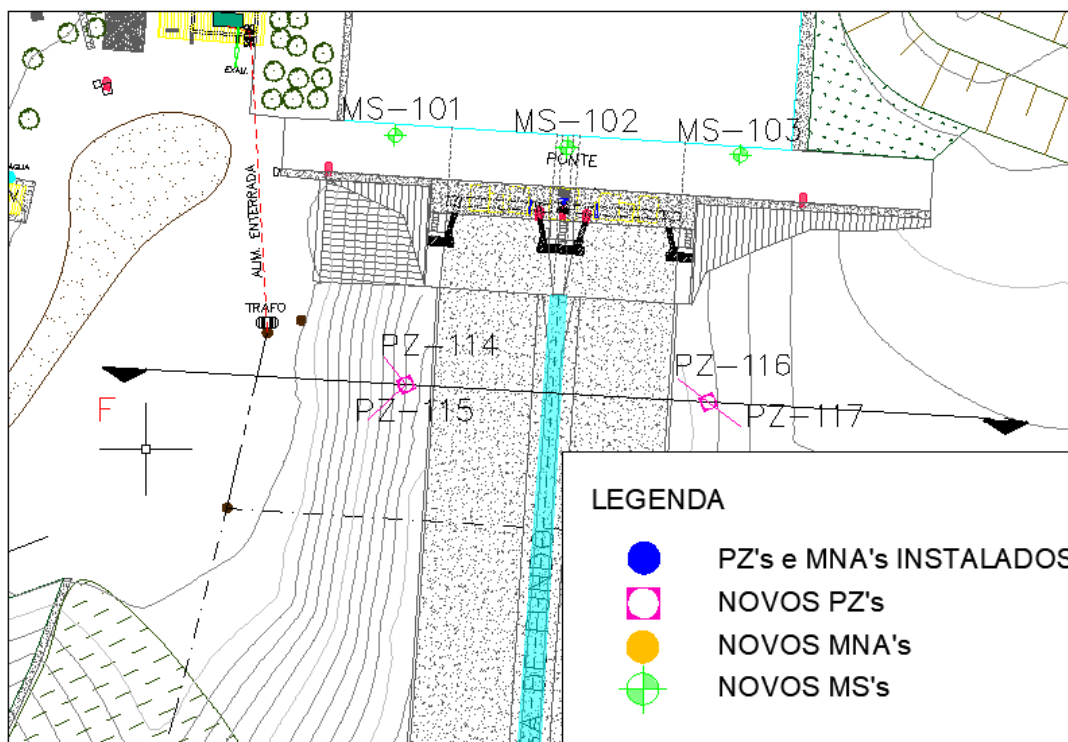


Figura 20. Planta Baixa de localização dos instrumentos no Vertedouro



6.4. DEFINIÇÃO DO PLANO MANUTENÇÃO E NÍVEIS DE CONTROLE DA INSTRUMENTAÇÃO

Em complemento ao projeto de instrumentação complementar a ser instalado, o relatório REL-209-2020-RDI-02-00 traz um plano de manutenção da instrumentação, sinterizado no Quadro 30. Ações de manutenção corrente relacionados às possíveis anomalias da instrumentação. A periodicidade de leituras é apresentada no Quadro 31

Quadro 30. Ações de manutenção corrente relacionados às possíveis anomalias da instrumentação

Instrumento	Anomalias	Procedimentos de Correção	Periodicidade
Piezômetros Tubo Aberto (PZA)	<ul style="list-style-type: none"> Leituras anômalas dos instrumentos; Problemas de identificação; Dificuldade de acesso. 	<ul style="list-style-type: none"> Teste de rebaixamento ou recuperação; Identificação e pintura; Limpeza da vegetação em torno do equipamento; Conservação dos acessos. 	<ul style="list-style-type: none"> Regularmente ou quando detectado comportamento anômalo.

Instrumento	Anomalias	Procedimentos de Correção	Periodicidade
Marcos Superficiais (MS) e Referência de Nível (RN)	<ul style="list-style-type: none"> Leituras anômalas dos instrumentos; Problemas de identificação; Dificuldade de acesso. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificação de alguma influência externa que possa ter causada movimentação; Pintura e identificação; Limpeza da vegetação em torno do equipamento; Conservação dos acessos. 	<ul style="list-style-type: none"> Regularmente ou quando detectado comportamento anômalo.
Medidores de Nível D'água (MNA)	<ul style="list-style-type: none"> Leituras anômalas dos instrumentos; Problemas de identificação; Dificuldade de acesso. 	<ul style="list-style-type: none"> Teste de rebaixamento ou recuperação; Identificação e pintura; Limpeza da vegetação em torno do equipamento; Conservação dos acessos. 	<ul style="list-style-type: none"> Regularmente ou quando detectado comportamento anômalo.
Medidores de Vazão (MV)	<ul style="list-style-type: none"> Material acumulado na caixa do medidor (sedimentos ou vegetação); Oxidação da placa de medição; Problemas de identificação; Régua de leitura danificada. 	<ul style="list-style-type: none"> Limpeza de sedimentos e vegetação; Recuperação da placa medidora de vazão; Identificação e pintura; Recuperação ou reinstalação da régua. 	<ul style="list-style-type: none"> Regularmente ou quando detectado comportamento anômalo.
Reparação dos acessos aos equipamentos e à instrumentação da Barragem e Vertedouro	<ul style="list-style-type: none"> Escadas danificadas; Problemas de identificação dos instrumentos. 	<ul style="list-style-type: none"> Reparo das escadas; Adequação da identificação dos instrumentos. 	<ul style="list-style-type: none"> Quando necessário, conforme inspeções rotineiras.

Quadro 31. Periodicidade de leitura dos instrumentos

Instrumentos	Periodicidade de leitura
PZA	Quinzenal - nos primeiros 03 meses desde a instalação
	Mensal - após terceiro mês da instalação
MNA	Quinzenal - nos primeiros 03 meses desde a instalação
	Mensal - após terceiro mês da instalação
MV	Quinzenal - nos primeiros 03 meses desde a instalação
	Mensal - após terceiro mês da instalação
MS	Mensal - nos primeiros 03 meses desde a instalação
	Trimestral - após terceiro mês da instalação

Os Níveis de Controle dos instrumentos são definidos por meio de análises de estabilidade e percolação da Barragem, onde são simuladas diferentes elevações do nível de água no interior do maciço de forma a se obter os Fatores de Segurança (FS). A metodologia utilizada para definição dos Níveis de Controle da Barragem em estudo compreende:

- Seleção das seções da Barragem: as seções selecionadas foram aquelas é proposta a instalação de instrumentos.
- Seleção dos parâmetros geomecânicos: os parâmetros de resistência e permeabilidade são os mesmos utilizados nas análises apresentadas no documento REL-209-2020-GEO-09-00 de Revisão dos Estudos Geológicos e Sismológicos e REL-209-2020-GEO-12-00 de Avaliação da Barragem de Terra e Enrocamento.
- Montagem do modelo: o modelo foi elaborado no programa SLOPE/W versão 2018, da Geostudio, que utiliza o Método de Equilíbrio Limite para a análise de estabilidade da estrutura e o Método dos Elementos Finitos para a análise de percolação;
- Nível de água: para a elaboração da Carta de Risco, dois aspectos foram analisados conjuntamente: o nível de água no interior do maciço e a estabilidade da estrutura. Os estudos foram feitos a partir de análises de estabilidade para a condição de percolação estável, que é representativa da condição de operação na qual o nível d'água, tendo atingido seu valor máximo maximorum a montante de projeto (208,40 m), assim permanece por um período de tempo suficientemente longo para a saturação do maciço nas zonas submetidas à percolação.

Os Níveis de Controle dos instrumentos são associados a três Níveis de Segurança da Barragem, assim definidos:

- Nível Normal – $FS \geq 1,5$: resultado satisfatório em relação à segurança da estrutura;
- Nível de Atenção – $1,4 \leq FS < 1,5$ e/ou linha freática próxima ao talude de jusante: resultado não satisfatório em relação à segurança da estrutura, exigindo atenção especial e monitoramento constante do nível piezométrico. Poderão ser tomadas medidas corretivas de segurança;
- Nível de Alerta – $1,3 \leq FS < 1,4$ e/ou surgência de água no talude de jusante e/ou colmatação total do sistema de drenagem interna da Barragem: resultado não satisfatório em relação à segurança da estrutura, exigindo a tomada imediata de medidas corretivas de segurança.

O Quadro 32 apresenta os valores de controle para cada piezômetro e medidores de nível d'água. Não foram definidos níveis de controle para os piezômetros instalados na região do vertedouro, uma vez que

não é possível simular a elevação do nível freático no interior do maciço e a consequente surgência no talude de jusante.

Quadro 32. Níveis de Controle dos Medidores de Nível D'água e Piezômetros

Seção	Instrumento	Distância Eixo (m)	Cota instal. (m)	Nível d'água / Cota Piezométrica (m)					
				Normal		Atenção		Alerta	
A-A	MNA-101	1,23	197,00	FS 2,48	SECO	FS 2,10	200,70	FS 2,05	204,70
	MNA-102	11,55	197,60		SECO		SECO		200,30
	PZ-101	11,11	195,00		195,00		196,30		201,10
	PZ-102	11,11	191,00		195,00		196,30		201,10
B-B	MNA-103	1,23	192,00	FS 1,96	200,70	FS 1,92	201,10	FS 1,90	201,70
	MNA-104	10,49	196,83		SECO		196,90		197,90
	PZ-103	10,49	189,50		197,00		197,80		198,20
	PZ-104	10,49	186,00		197,00		197,80		198,20
	PZ-105	10,49	194,23		194,70		196,80		197,90
C-C	MNA-105	1,23	187,00	FS 1,51	200,00	FS 1,44	201,00	FS 1,36	202,00
	MNA-106	10,99	195,90		SECO		197,50		201,00
	PZ-106	10,49	184,50		202,90		203,00		203,30
	PZ-107	10,49	181,00		203,00		203,20		203,30
	PZ-108	10,49	193,30		194,00		197,60		200,00
D-D	MNA-107	1,23	187,00	FS 1,65	202,00	FS 1,59	203,00	FS 1,52	204,00
	MNA-108	10,19	196,66		SECO		197,90		200,60
	PZ-109	9,95	184,50		201,50		201,70		202,00
	PZ-110	9,95	181,00		201,30		201,50		201,70
	PZ-111	9,95	194,06		194,50		198,00		200,40
E-E	MNA-109	1,23	197,00	FS 2,23	197,80	FS 2,23	199,30	FS 2,20	202,00
	MNA-110	10,66	197,60		SECO		SECO		197,90
	PZ-112	10,43	195,00		195,10		196,00		197,50
	PZ-113	10,43	191,00		195,10		196,10		197,90

Com relação aos marcos superficiais (MS), as medições de recalque serão feitas através de nivelamento topográfico nas estações topográficas a partir de um ponto fixo para referência. Essas estações topográficas devem ser instaladas sobre marcos fixados na rocha fora da Barragem (Benchmarks).

O critério utilizado para determinação dos valores de atenção para as deformações verticais foi de 0,25% H, sendo H a altura da Barragem. Para os valores de alerta, adotou-se 0,50% H. O Quadro 33 apresenta os níveis de controle dos marcos superficiais (MS).

Quadro 33. Níveis de Controle dos Marcos Superficiais

Instrumento	Referência	Limites	
		Atenção	Alerta
Vertedouro	H (m)	0.1% x H (m)	0.15% x H (m)
MS-101	18,00	0,02	0,03
MS-102	18,00	0,02	0,03
MS-103	18,00	0,02	0,03
Barragem	H (m)	0.25% x H (m)	0.5% x H (m)
MS-104	20,00	0,05	0,10
MS-105	12,50	0,03	0,06
MS-106	18,00	0,05	0,09

Para o medidor de vazão (MV), os cálculos das vazões esperadas a jusante da barragem foram realizados considerando as análises de fluxo percolado pelo maciço e filtros em diferentes cenários. Foram realizadas simulações hipotéticas de casos em que o aterro compactado da barragem perdesse sua capacidade vedante por algum fator relacionado à piping/sinkhole (erosão interna) causando aumento das vazões medidas no pé da barragem. Estes cenários mantiveram íntegra a capacidade de drenagem dos filtros, para que se pudesse avaliar o efeito da degradação da vedação do maciço.

Para os cenários em que o Fator de Segurança esteve entre 1,4 e 1,5, com o aumento da permeabilidade do maciço, calculou-se o fluxo d'água na seção transversal de jusante no software SEEP/W, integrando-o pela área da barragem. Este cenário foi denominado "Atenção". O mesmo foi feito para se atingir o cenário de "Alerta" considerado quando o Fator de Segurança está entre 1,3 e 1,4, a partir do aumento da permeabilidade do maciço.

Os resultados obtidos foram transformados na carta de risco a seguir, em função dos registros efetuados no medidor de vazão a ser instalado a jusante da barragem:

- Vazões percoladas inferiores à 5 l/s → Normal
- Vazões percoladas entre 5 e 15 l/s → Atenção
- Vazões percoladas acima de 15 l/s → Alerta

A bibliografia indica como normal para este porte de barragem, cuja altura é de aproximadamente 25 m, vazões da ordem de 1 a 2 l/min/m para cada metro de seu comprimento (SILVEIRA, 2006). Considerando aproximadamente 200 m de comprimento da barragem, tem-se uma faixa entre 3 e 6,5 l/s como sendo normal para esta barragem.

6.5. DIAGNÓSTICO E AÇÕES INERENTES À INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCULTAÇÃO

A carência de dados (iniciadas leituras somente em janeiro de 2020) impossibilitou qualquer análise conclusiva ou correlações assertivas entre as variáveis, como pluviometria, níveis de reservatório, poropressões e níveis de água do maciço, assim como, verificar a estacionariedade, consistência e/ou comportamento de longo prazo das séries.

Sendo assim, não foi possível avaliar as subpressões hidrostáticas, tanto como, uma avaliação dos níveis freáticos na barragem de terra. Referente a estrutura do vertedouro, não consta nenhum instrumento instalado. Quanto aos marcos superficiais, não foram fornecidos os dados de leituras, desde a instalação até os dias atuais.

As principais recomendações decorrentes das análises e constatações apresentadas no presente documento são listadas abaixo:

- Desativar o PZ-02, através da injeção na tubulação do instrumento e por gravidade, de calda de cimento (com fator AC = 0,5), até a altura de 0,5 m em relação ao topo do terreno, onde o tubo deve ser cortado e sobre ele deve-se fazer selo com calda na mistura de solo/cimento 10%/bentonita 20%.
- Realizar a limpeza da tubulação dos PZA's 03 e PZ-04 e MNA's 05 e 06, e posteriormente realizar o ensaio de permeabilidade (teste de vida);
- Instalação de instrumentação complementar (PZA, MNA, MS e MV);
- Realização de treinamentos e estabelecer programa de reciclagem e atualização para as atividades relacionadas à segurança de barragem, para a equipe responsável pelo monitoramento da instrumentação;
- Realizar a leitura dos instrumentos novos e existentes de acordo com a periodicidade apresentada;
- Georreferenciar todos os instrumentos novos e os existentes;
- Manter programa contínuo de manutenção dos instrumentos.

7. AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE ENGENHARIA

Documento de referência: REL-209-2020-ASE-04-00 – Relatório dos Avaliação das Soluções de Engenharia

As soluções de engenharia previstas nos projetos, memoriais e demais documentos técnicos fornecidos pelo empreendedor, as quais são descritas no item 3.2 do presente relatório, foram analisadas sob a ótica do atendimento aos quesitos de atendimento qualitativo das recomendações técnicas vigentes, com as devidas ressalvas e ponderações pertinentes ao contexto existente na época de elaboração do projeto. Foi possível concluir que, de maneira geral, as soluções de engenharia especificadas nos projetos da Barragem II do Arroio Candiota vão de encontro aos principais requisitos previstos nas recomendações técnicas vigente na literatura analisada, conforme exposto no Quadro 34.

Quadro 34. Síntese da análise das soluções de engenharia do projeto da Barragem II

Item	Recomendação	Fonte	Projeto da Barragem II
Taludes	Inclinação talude de montante: 2,0:1,00 (H:V) a 3,00:1,00 (H:V)	Cruz (1996)	2,5:1,00 (H:V), verificado nos projetos e 2,30:1,00 (H:V) obtido pelo levantamento topográfica na parte emersa. Em conformidade com as recomendações.
	Inclinação talude de jusante: 2,0:1,00 (H:V) a 2,50:1,00 (H:V)	Cruz (1996)	2,00:1,00 (H:V), verificado nos projetos e ratificado pelo levantamento topográfico recente. Em conformidade com as recomendações.
	Proteção da face de montante com enrocamento e de jusante com vegetação	Eletrobras (2003)	Proteção contra efeitos de onda por enrocamento, no talude de montante, e vegetação gramínea de proteção contra efeitos erosivos no talude de jusante, em concordância com as recomendações.
Filtros internos e sistema de drenagem	Previsão de sistema de drenagem interna por filtro vertical ou inclinado, tapete drenante e dreno de pé	Eletrobras (2003)	Contém os elementos citados, portanto, em conformidade com as recomendações.
	Cota de topo igual ao NA máx. maximorum (NAMM)	Eletrobras (2003)	Cota de topo do filtro de 208,00 m na versão de fev/71 para um NAMM de 208,40 m, e cota de topo de 206,00 m na versão de nov/71, para um NAMM de 208,00 m.
	Para o caso do filtro/dreno sub-horizontal em contato com a fundação, a vazão a ser considerada incluirá a contribuição dos fluxos pelo maciço e pela fundação	Eletrobras (2003)	Sem informações de dimensionamento do fluxo oriundo da fundação
	Espessura filtro vertical ou inclinado: mín 0,60m; mín. 0,80m e máx, 2,00m	Eletrobras (2003) Cruz (1996)	Espessura de 0,80 m, atendendo às recomendações.
	Filtro sub-horizontal: espessura mínima de 0,25m;	Eletrobras (2003)	Espessura de 1,00 m na versão de projeto de fev/71, e de 0,60 m na versão de nov/71. Atende às recomendações.
	Transições em drenos de pé: largura de 0,40m;	Eletrobras (2003)	Considerada a versão de projeto de nov/71, apresenta camada de transição de 2,00 m de brita fina após o trecho em areia.
	Poços de alívio: diâmetro de 0,10m;	Eletrobras (2003)	Conicionados à necessidade a partir da verificação de subpressões elevadas da fundação, conforme memorial descritivo. Apenas indicado o eixo previsto de

Item	Recomendação	Fonte	Projeto da Barragem II
			locação, na versão de projeto de fev/71, sem detalhamentos. Não constam na versão de nov/71.
Largura da crista	Entre 6 e 10 m ou critério empírico de Preece: $L = 1,1 \sqrt{H} + 1 = 6,38\text{m}$ para $H=24\text{ m}$ (altura máxima da barragem)	Eletrobras (2003)	$L=7,00\text{ m}$, conforme projetos, e aproximadamente 9,0 m de acordo com o levantamento topográfico efetuado. Em conformidade com as recomendações.
Trincheira vedante (cut-off)	Largura mín. de 4 m e máx. de 20 m, Regra empírica $b=H-d$, com eixo coincidente ao eixo centro da barragem ou ligeiramente a montante	Cruz (1996)	Cut-off de 12 m, com eixo ligeiramente deslocado para montante em relação ao eixo central da barragem, atendendo as recomendações empíricas.
Cortinas de injeção	Executar quando permeabilidade superior 10^{-4} cm/s	Cruz (1996)	Consta o sistema de cortinas de injeção no projeto, definido a partir de ensaios de permeabilidade executados no local.
	Uso de linha tripla de injeção, para permeabilidade superior 10^{-4} cm/s , com profundidade mínima $0,4\Delta h$, sendo Δh a diferença de carga entre o NA máx. e o nível mínimo de jusante	Cruz (1996)	As cortinas projetadas em linhas alternadas de 2 e 3 furos, com espaçamento de 5,00 m no sentido longitudinal e 3,00 m no sentido transversal, no trecho do barramento, e com espaçamento de 4,50 m no sentido longitudinal e 3,50 m no sentido transversal, no trecho do vertedouro. Profundidades de projeto satisfazem às recomendações empíricas.
	Prática comum: adoção de caldas grossa (traço de 0,7:1,0 a 0,5:1,0) e baixas pressões de injeção (0,15 a 0,25 kg/cm ² /m)	Cruz (1996)	Especificação de calda e pressão de injeção das cortinas diferem das recomendações empíricas da literatura técnica, possivelmente devido às condições de fraturamento variadas dos locais de injeção ou condicionantes específicas verificadas durante a execução, desconhecendo-se as pormenoridades e critérios de projeto que levaram a adoção dos parâmetros especificados.
	Instalação de furos de drenagem em fundação sob estruturas de concreto Os furos de injeção, sob estruturas de concreto, devem ser ligeiramente inclinados para montante e os de drenagem para jusante	Schreiber (1977)	Concepção de projeto atende ao recomendado.

Em relação aos parâmetros geotécnicos e análises de estabilidade da época de projeto, considera-se que foram utilizados valores conservadores e obtidos fatores de segurança elevados, em virtude das simplificações e limitações dos métodos empregados. Ressalta-se que as análises disponibilizadas são da fase de anteprojeto ou de projeto básico. O relatório REL-209-2020-ASE-04-01, complementado pelo relatório REL-209-2020-GEO-12-01, traz um comparativo entre os parâmetros geotécnicos e métodos de análises de estabilidade utilizados no projeto inicial e os adotados no contexto desta Revisão Periódica de Segurança.

Visto que não foram fornecidos registros de intervenções posteriores à época de projeto, não foi possível tecer comentários acerca de eventuais técnicas e procedimentos de manutenção ou adequações efetuados na barragem.

Os projetos fornecidos indicam a concepção de um conjunto de instrumentação de auscultação civil, composto de medidores de nível d'água, para verificação do nível freático no interior do maciço, e de piezômetros para monitoramento das poropressões fundação. Apesar dos instrumentos, conforme descrito no Relatório de Avaliação da Instrumentação (REL 209-2020-RDI-02-00), apresentarem, em sua maioria, normalidade de operação, para a completa análise do comportamento de todas as estruturas que compõe o barramento (fundação, tapete drenante, filtro vertical e maciço compactado), o conjunto existente se mostra insuficiente, em termos de quantidade, localização e histórico de leituras de monitoramento. Não foram considerados no projeto instrumentos para medição de vazão percolada pelo maciço, nem instrumentação de auscultação nas ombreiras e nas adjacências estruturas extravasoras, além de marcos de deslocamento no talude jusante.

Estruturas extravasoras

No que concerne às estruturas extravasoras, a vazão de projeto milenar foi adequada para verificação hidráulica, bem como a geometria do vertedouro perfil Creager é compatível com vazão de projeto da época e também das vazões afluentes revisadas no relatório REL-209-2020-HID-07-00, todavia, para os critérios atuais, a carga de projeto possibilita a ocorrência de pressões negativas perigosas à estrutura. Ao se verificar a borda livre mínima, considerando-se o nível de água no reservatório para o evento milenar, concluiu-se que a barragem possui altura suficiente para atendimento aos critérios de segurança.

Não foram fornecidas informações que remetam às condicionantes de projeto para adequação de um sistema com duas comportas. Pode-se dizer que a concepção com duas comportas, ao invés de três comportas, pode ser desaconselhável em alguns empreendimentos em virtude de um maior comprometimento da capacidade de extravasamento quando um dos componentes de encontrar inoperante. Nesse sentido, comenta-se que o sistema de comportas da Barragem II está coerente com as soluções de engenharia da época e, conforme relatos da equipe de operação, está operando adequadamente há muitos anos, ressalvadas as anomalias e necessidades de manutenção apontadas no relatório REL-209-2020-HID-03-00.

Analisando-se a geometria do canal de descarga, pode-se se considerar que esta é pouco usual, pois não há a divisão dos escoamentos decorrentes da comporta de fundo e decorrentes das comportas do extravasor, podendo haver ondas transversais no caso de abertura de uma única comporta. Todavia, conforme relatado pela equipe operacional, já houve eventos de abertura relevante das comportas sem que tenham sido notados danos às margens do canal.

Ao efetuar a verificação hidráulica da bacia de dissipação considerando-se a vazão de projeto de 780 m³/s, utilizada para as obras de recuperação da bacia de dissipação, observou-se que não foi considerada uma borda livre para definir a cota de topo dos muros, de forma que se verificou falta de altura nos muros para todas as vazões analisadas, e quanto ao comprimento da bacia de dissipação a mesma consegue conter os trechos críticos do ressalto, quando ele ocorre dentro da estrutura.

8. PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Documento de referência: REL-209-2020-RPOM-05-00 – Relatório de Reavaliação dos Procedimentos de Operação e Manutenção.

Dentre os serviços decorrentes da revisão da documentação técnica e da realização da inspeção especial de segurança, atividades empreendidas no contexto do primeiro ciclo de RPSB da Barragem II do Arroio Candiota, incluiu-se a revisão do plano de operação e manutenção das estruturas extravasoras e dos equipamentos elétricos e hidromecânicos.

Foram analisados os procedimentos de testes dos equipamentos e a frequência com que são executados, se houve eventuais intervenções de reparação das estruturas da barragem, como foi feito o planejamento de manutenção da barragem e dos órgãos extravasores, além de verificados os aspectos inerentes ao sistema de comunicação e de alarmes no empreendimento.

8.1. CONTROLE DE NÍVEL DO RESERVATÓRIO

O controle do reservatório visa a otimização dos recursos hídricos para fins de abastecimento industrial e atendimento ao descarregamento do volume em excesso em situações de pluviosidade mais intensa, se dando por meio da avaliação do nível aferido nas régua limnimétrica instaladas no barramento, e o nível aferido visualmente pelo vigilante que se encontra no local.

O plano atual de operação determina a leitura de nível do reservatório uma vez por turno na ausência de chuvas e leitura de duas em duas horas para situações com chuva, sendo cada uma das leituras sempre registrada para composição do histórico de dados. Os níveis referência da operação são mostrados no Quadro 35.

Quadro 35. Níveis de referência para operação do reservatório (Fonte: PSB da Barragem II, 2020)

Nível mínimo	206,70 metros
Nível de operação (normal)	207,00 metros
Nível máximo	207,70 metros

As informações são repassadas para os profissionais responsáveis que registram e avaliam o nível de resposta. Se a velocidade de enchimento do reservatório indicar risco de galgamento, é deslocada uma equipe para realizar a operação das comportas conforme a regra estabelecida, buscando-se equiparar as vazões afluentes e efluentes (estruturas extravasoras e tomada d'água) e manter o nível normal do reservatório, em torno da cota de 207,00 metros.

8.2. OPERAÇÃO DAS COMPORTAS

A abertura das comportas da estrutura de extravasamento da Barragem II se inicia em situação de chuva, quando o nível do reservatório atinge a cota de referência de 207,30 metros. Nessa situação, uma única comporta é aberta, com abertura de 15 a 20 centímetros.

Se há continuidade da chuva e progressivo aumento do nível do reservatório, a segunda comporta é aberta, também com abertura de 15 a 20 centímetros. Em caso de persistência do aumento do nível do reservatório, o procedimento de abertura é continuado, para ambas as comportas, até que se mantenha o nível do reservatório abaixo da cota de 207 metros (nível de operação.). Quando o nível da barragem atinge a cota de 206,80 metros, as comportas são fechadas, parcialmente ou totalmente, para que se mantenha o reservatório dentro dos limites mínimos de cota. O procedimento é sintetizado no Quadro 36.

Quadro 36. Tempo para abertura das comportas

Abrir	Aguardar	Abertura final	Tempo total para abertura
5,00 cm	5 minutos	15,00 cm	15 minutos

5,00 cm	5 minutos	20,00 cm	20 minutos
5,00 cm	5 minutos	25,00 cm	25 minutos
10,00 cm	5 minutos	35,00 cm	30 minutos
10,00 cm	5 minutos	50,00 cm	35 minutos
15,00 cm	5 minutos	65,00 cm	40 minutos

Para casos de extrema necessidade (muita chuva e enchentes), em que a abertura máxima de 65 cm estabelecida no procedimento não for suficiente para controlar o nível do reservatório, após realizada a sequência estabelecida no Quadro 36, as comportas podem ser abertas de uma única vez.

Em caso de falta de energia elétrica, o gerador a diesel deve ser colocado em operação, e a movimentação das comportas será feita pelo sistema de emergência. As instruções para operação manual do gerador são dispostas nos quadros abaixo.

Quadro 37: Instruções para a operação manual do gerador.

OPERAÇÃO MANUAL DO GERADOR	
1.	Checar combustível, nível de óleo do motor e água no radiador antes de dar a partida;
2.	Colocar a chave na posição "ON";
3.	Apertar o botão com a "mãozinha" e em seguida apertar o botão verde;
4.	Aquecer o motor por 5 (cinco) minutos antes de colocar a carga;
5.	Desligar o disjuntor geral da rede localizado no quadro elétrico;
6.	Colocar a chave reversora da rede na posição "2" (GERADOR) localizado no quadro elétrico;
7.	Ligar o disjuntor do gerador localizado junto ao gerador;
8.	A operação das comportas estará liberada, sendo que a operação de movimentação das comportas deverá ser feita individualmente, ou seja, uma comporta de cada vez.

Fonte: PSB da Barragem II, 2020.

Quadro 38: Instruções para o desligamento do gerador.

DESLIGAMENTO DO GERADOR	
1.	Desligar o disjuntor do gerador localizado junto ao gerador;
2.	Pressionar o botão vermelho 2 (duas) vezes;
3.	Colocar a chave na posição "OFF";
4.	Colocar a chave reversora da rede na posição "1" (REDE) localizado no quadro elétrico;
5.	Ligar o disjuntor geral da rede localizado no quadro elétrico.

Fonte: PSB da Barragem II, 2020.

A convenção para as situações operacionais do reservatório segue a convenção abaixo:

Quadro 39. Situações Operacionais do Reservatório

<ul style="list-style-type: none"> • SITUAÇÃO NORMAL: nível a montante da barragem na cota em torno de 207,00 metros, não existe riscos ou danos a nenhuma espécie, nem a montante, nem a jusante da barragem.
<ul style="list-style-type: none"> • SITUAÇÃO DE ALERTA: quando é necessário atenção para o nível a montante da barragem, nas áreas construídas em nível próximo a cota de 210,00 metros. É necessária operação das comportas para baixar o nível da água ao nível normal de operação.

- **SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA:** Período de cheias sucessivas, em que o nível da barragem supera 207,70 metros mesmo com as duas comportas abertas e há, portanto, escoamento em vazão máxima. Nesse caso, o operador responsável deverá comunicar imediatamente ao supervisor de turno, que deverá entrar em contato com a Comissão de Emergência, que consiste em uma equipe multidisciplinar, criada pela CGT Eletrosul, com a atribuição de estabelecer procedimentos sistematizados para lidar com ocorrências de cheias, danos à barragem e/ou outras estruturas, aspectos de operação da usina com abordagem mais ampla, inundações de margens ribeirinhas, além de ações junto às comunidades afetadas pela usina. Se as medidas anteriores não forem suficientes para deter o sinistro eminente, proceder com o Plano de Ação de Emergência.

8.3. BARRAGENS A MONTANTE E JUSANTE

Quadro 40. Interferência de barragens a montante e jusante

Localização	Barragem	Coordenadas	Situação
Montante	Sanga Funda	31°27'54.9"S 53°39'09.2"W	Sem interferência direta com a operação da Barragem II. Indiretamente, acaba tendo efeito benéfico de retenção de sedimentos que seriam transportados para o reservatório.
Jusante	Barragem I	31°33'27.1"S 53°40'14.0"W	Sem interferência na operação da Barragem II. Serve como barragem de nível (garantia da lâmina d'água mínima necessária p/ funcionamento adequado dos equipamentos motobomba) para captação de água bruta para suprimentos da usina termelétrica.

8.4. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Os aspectos relativos à operação e manutenção dos equipamentos elétricos existentes na barragem são tratados especificamente no relatório REL-209-2020-RPOM-05-00, abordando a proteção contra: choques elétricos, efeitos térmicos, sobrecorrentes, circulação de corrente de falta, sobretensões, serviços de segurança, desligamento de emergência, seccionamento, independência da instalação elétrica, acessibilidade dos componentes, seleção dos componentes, efeitos danosos ou indesejados, instalação dos componentes, verificação da instalação e qualificação profissional. Também são elencadas as medidas de controle para bloqueio por serviços em eletricidade e por bloqueio por serviços em não eletricidade. Os procedimentos são pautados nas referências normativas vigentes, especialmente aa NR10, NR12 e NBR 5410.

Quanto à conformidade das instalações elétricas, observa-se o empenho em promover as adequações necessárias das instalações, que datam da década de 70, aos quesitos normativos em vigência. Entre as pendências principais, destaca-se a necessidade de implementação das medidas de controle para bloqueios por serviços em eletricidade e identificação dos equipamentos e painéis com seus respectivos circuitos alimentadores.

8.5. PROCEDIMENTOS DE TESTES

Os procedimentos de teste são os recomendados no Quadro 41.

Quadro 41. Procedimentos de testes

Periodicidade	Item	Checklist / Verificação	
Diária	Inspeção do gerador	Nível de combustível Nível de óleo do motor Nível de água do radiador	
Semanal	Inspeção das comportas	Engrenagem do guincho e parte móveis	Condição de lubrificação e presença de materiais estranhos
		Redutor	Nível de óleo
		Cabos de aço	Acamação dos cabos nas ranhuras dos tambores
	Comportas	Inspeção visual, verificando fuga d'água pelas vedações e partes estruturais	
	Teste de partir no gerador	Procedimento de partida (Quadro 37) e desligamento (Quadro 38).	
Quinzenal	Teste de abertura e fechamento das comportas pelo sistema principal de energia	As comportas devem atingir a abertura de 5 cm e, depois, proceder o fechamento.	
Mensal	Teste de abertura e fechamento das comportas pelo sistema de emergência	As comportas devem atingir a abertura de 5 cm e, depois, proceder o fechamento.	
Bienal	Retreinamento da equipe de operadores da barragem	Destinado a operadores, coordenadores e supervisores, deve englobar todos os procedimentos de operação cabíveis às funções do setor.	

8.6. MANUTENÇÕES E INTERVENÇÕES

Observando o documento “Instruções para Operação das Comportas da Barragem II”, fornecido pela CGT Eletrosul, constam informações de periodicidade semanal, trimestral, semestral e anual para operação e manutenção preventiva das comportas. No entanto, o Plano 42821 de Manutenção de Acionamento da Comporta da Barragem 2 é anual, já no documento de instruções no item E.3 / Nota 2 / Folha 12, essa movimentação é trimestral. É necessário seguir o documento de Instruções para Operação das Comportas da Barragem para atender adequadamente as manutenções ali indicadas.

No Plano Mestre de Manutenção Preventiva TRATAGUA 2020, mostra-se a manutenção preventiva semestral para as comportas 01 e 02. No entanto, o Plano 42821 é anual. Recomenda-se que o plano de manutenção das comportas seja reorganizado, para atender adequadamente o documento de Instruções para Operação das Comportas da Barragem II.

O planejamento de manutenção das estruturas da Barragem II do Arroio Candiota deve se adaptar às ações imprescindíveis à segurança da barragem e se atentar à periodicidade correta das ações de manutenção. Para isso, são propostas alterações nos planos existentes (42821, 42822 e 42823) de manutenção preventiva, a fim de abranger todos os aspectos relevantes à manutenção. O Quadro 42 apresenta a sugestões de inclusão de tarefas de manutenção em cada um dos planos mencionados:

Quadro 42. Sugestões de inclusão de tarefas de manutenção

Plano	Periodicidade	Ação de manutenção a ser incluída
42821	Anual	<ul style="list-style-type: none"> Lubrificação dos munhões e graxeira Adequação ao documento “Instruções para operação das comportas da Barragem”
42822	Semestral	<ul style="list-style-type: none"> Troca de fluido do radiador* Caixa de bornes no motor de partida quanto à limpeza, vedações e conexões

Plano	Periodicidade	Ação de manutenção a ser incluída
		<ul style="list-style-type: none"> • Verificação das condições de estufamento da carcaça da bateria e estruturas de apoio • Verificação das condições de funcionamento das luminárias da sala de bateria • Verificação do sistema de ventilação da sala de bateria
42823	Semestral	<ul style="list-style-type: none"> • Verificações das condições de funcionamento das lâmpadas do painel de acionamento das comportas • Verificação do acesso às partes energizadas do painel de alimentação geral e de acionamento das comportas • Verificação das condições de cobertura de proteção do painel de acionamento das comportas • Verificação dos aterramentos (todos os painéis e quadros e massa de equipamentos) • Verificar esquema elétrico atualizado • Identificação dos disjuntores e circuitos alimentados
*verificar se, no manual do gerador, há indicação de uso de água ou fluido refrigerante específico.		

O Quadro 43 e o Quadro 44 apresentam as periodicidades de manutenção nas estruturas do barramento e estruturas extravasoras, respectivamente.

Quadro 43. Periodicidade de manutenção das estruturas do barramento

Estrutura	Manutenção a realizar	Periodicidade
Barramento / Estruturas de concreto	Reparos na estrutura de concreto	Assim que identificada a falha. Imediata quando se tratar de armaduras expostas.
	Conservação de guarda-corpos e placas de sinalização	Conforme demanda
Crista da barragem	Recomposição de proteção superficial	Assim que identificada a falha (trincas, esborcinamento, rachaduras etc.)
	Retirada de material depositado – até 1 tf/m ²	Conforme demanda
	Retirada de material depositado – acima de 1 tf/m ²	Imediata
Talude de jusante e área de jusante	Corte de vegetação excessiva (Gramíneas e arbustivas)	Semestral ou conforme demanda
	Reparação dos acessos aos equipamentos e instrumentação	Assim que identificada obstrução do acesso
	Recomposição de proteção superficial	Assim que identifica falha
Instrumentação	Ações de conservação (limpeza, desobstrução, calibração, vedações etc.)	Anual ou conforme demandas apontadas nos relatórios mensais de leituras
Reservatório	Retirada de macrófitas junto ao talude de montante e estruturas extravasoras	Conforme demanda
	Levantamentos batimétricos e avaliação de necessidade de dragagens	A cada 15 anos

Estrutura	Manutenção a realizar	Periodicidade
Pátios internos	Capinas e roçadas	Mínimo trimestral
Infraestrutura operacional	Manutenções civis nas estruturas de apoio	Conforme demanda
	Manutenções equipamentos elétricos	Conforme plano específico

Quadro 44. Periodicidade de manutenção das estruturas extravasoras

Estrutura	Manutenção a realizar	Periodicidade
Vertedouro e estruturas de concreto	Limpeza das estruturas do vertedouro e canal rápido, retirando materiais arrastados pelo escoamento ou caídos das margens adjacente	Semestral ou conforme demanda
	Recomposição das estruturas de concreto	Assim que identificada a falha
Comportas	Conservação das partes fixas e móveis (limpeza, pinturas, lubrificação, troca de componentes danificadas etc.)	Anual ou conforme plano específico
	Desobstrução do canal de aproximação e retirada de materiais	Semestral ou conforme demanda

Quanto ao histórico de serviços de manutenção, conforme documentos fornecidos e por observações realizadas durante a inspeção especial de segurança (REL-209-2020-HID-03-00), verificou-se:

- No muro lateral esquerdo, na região da bacia de dissipação foram observadas marcas de serviços de recuperação do concreto. Não há, entretanto, registros da manutenção e, portanto, não se sabe ao certo a data de realização do serviço. Apenas foi informado pela equipe que, desde o ano de 2000, não há registros desse tipo de atividade;
- Na estrutura das comportas, foram identificados respingos de solda, indicando manutenção do desprendimento do aço em camadas. Também não se tem registros de quando e como a manutenção ocorreu. Entretanto, ressalta-se que o estado de corrosão das comportas é preocupante e requer tratamento específico, não somente focado na reparação das consequências. O Plano 42821 – Manutenção Preventiva de Acionamento Comporta de Barragem, de intervalo anual, têm na lista de tarefas a manutenção preventiva de “Estado Geral, Pintura, Limpeza, Corrosão”, a qual deve ser atendida, para garantia da integridade das estruturas das comportas;
- Quanto à manutenção do sistema de acionamento das comportas, foi verificado o procedimento de manutenção das engrenagens do sistema, relatada no Relatório da Manutenção Preventiva da Barragem com datas de 26/09/2019, e executado em 01/03/2020.

8.7. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E ALARME

Como verificado durante a inspeção especial de segurança, relatada no documento REL-209-2020-HID-03-00, o sinal de telefonia no local é instável e, atualmente, a comunicação entre a equipe é realizada via radiocomunicador. Não há sinalização adequada das instalações da infraestrutura, não há sistema de videomonitoramento das estruturas e não há sirenes de alerta.

Recomenda-se que o sistema de monitoramento seja revisado, bem como o sistema de comunicação, buscando adequações com as novas tecnologias, prezando sempre pela segurança da estrutura e da equipe. Quanto aos alertas de segurança, recomenda-se que toda a área do empreendimento seja

devidamente sinalizada quanto aos possíveis riscos e que seja implantado sistema sonoro de alerta imediato de emergências. O sistema de alerta sonoro, especialmente, é imprescindível à segurança da equipe.

9. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL ASSOCIADO

Documento de referência: REL-209-2020-HID-06-00 – Relatório de Reavaliação da Categoria de Risco e Dano Potencial Associado da Barragem

A reavaliação da classificação da Barragem II do arroio Candiota, foi efetuada com base na Resolução ANA nº 132/2016 e na Resolução CNRH nº 143/2012, a partir de todo o trabalho elaborado no âmbito desta Revisão Periódica de Segurança da Barragem. Os parâmetros que foram reavaliados para a categoria de risco basearam-se nas características técnicas da barragem, no seu estado de conservação e no Plano de Segurança da Barragem (PSB). Para a reavaliação do Dano Potencial Associado (DPA), foram reavaliadas as condições de jusante da barragem, voltadas para as perdas de vidas humanas, impactos socioeconômicos e impactos ambientais.

9.1. CATEGORIA DE RISCO

A análise de Risco foi realizada de acordo com a Resolução CNRH nº 143/2012 bem como com as informações levantadas da documentação e formulários técnicos da barragem. Os Quadro 45, Quadro 46 e Quadro 47 apresentam o enquadramento da barragem conforme cada critério de avaliação da Categoria de Risco.

Quadro 45. Classificação da Barragem II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (CT)

Altura	Comprimento	Tipo de barragem quanto ao material de construção	Tipo de fundação	Idade da barragem	Vazão de projeto
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 200 m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	Entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou decamilenar (3)
15m < Altura < 30 m (1)	Comprimento ≥ 200 m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado – CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	Entre 10 e 20 anos (2)	Milenar (5)
30 m < 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)
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)		

Fonte: adaptado de Resolução CNRH Nº 143/ 2012.

Quadro 46. Classificação da Barragem II– ESTADO DE CONSERVAÇÃO (EC)

Confiabilidade das estruturas extravasoras	Confiabilidade das estruturas de adução	Percolação	Deformações e recalques	Deterioração de taludes / parâmetros	Eclusas
Estruturas civis e hidroeletrônicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletrônicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletrônicas 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 hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgências 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 de taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Estruturas civis e hidroeletrônicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos 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 hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgências 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, ferrugem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução da capacidade de vazão e sem medidas corretivas / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)		Surgências nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carregamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, 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 hidroeletrônicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)

Fonte: adaptado de Resolução CNRH N° 143/ 2012

Quadro 47. Classificação da Barragem II - PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (PSB)

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 (r)
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 inspeções e monitoramentos (6)		
Inexiste documentação de projeto (8)				

Fonte: adaptado de Resolução CNRH N° 143/2012.

9.2. DANO POTENCIAL ASSOCIADO

A análise de Dano Potencial Associado foi realizada de acordo com a Resolução ANA n° 132/2016 e consistiu na análise dos seguintes parâmetros: volume total do reservatório, potencial de perda de vidas humanas; impacto ambiental e impacto socioeconômico.

a. Potencial de perdas de vidas humanas e impacto socioeconômico

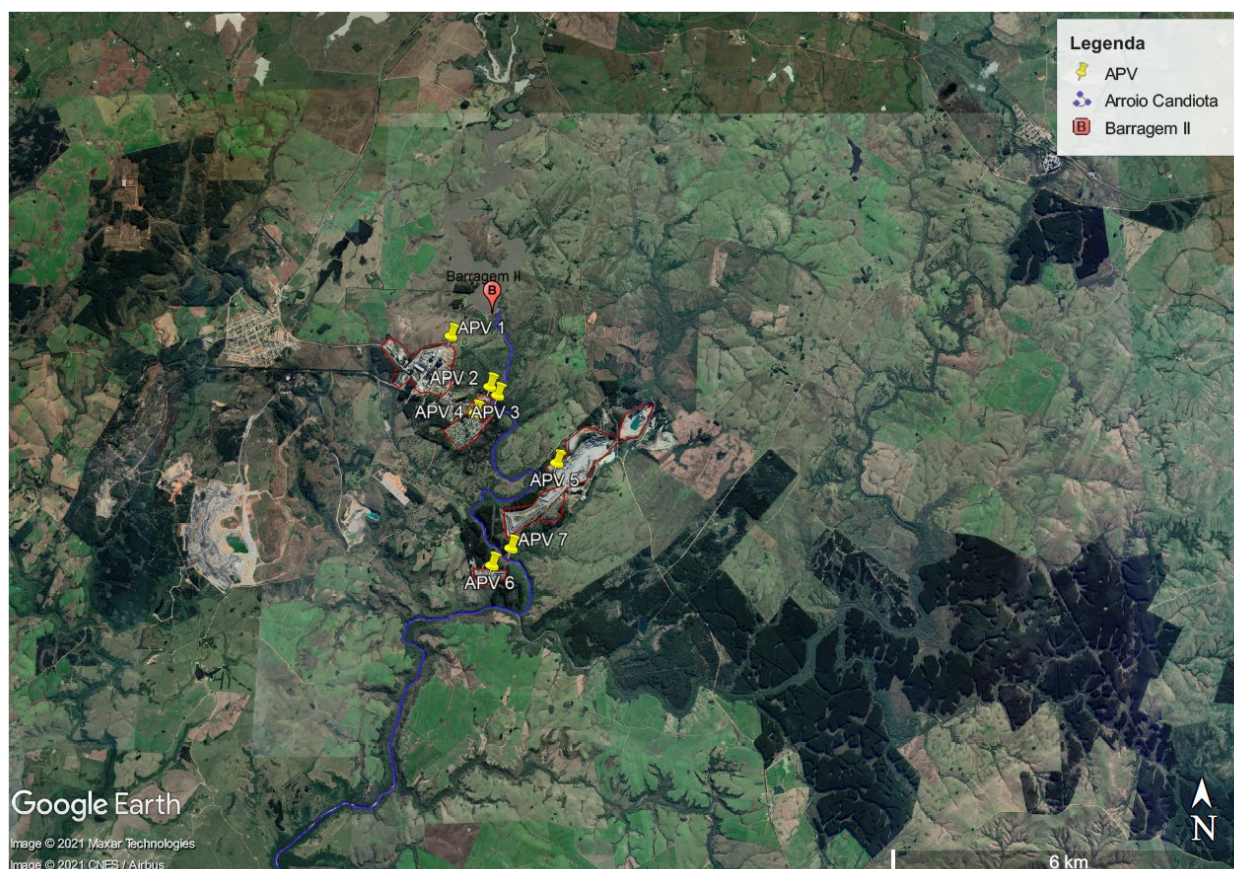
A avaliação do potencial de perdas de vidas humanas e do impacto socioeconômico da Barragem II foi feita através da identificação de Áreas Potencialmente Vulneráveis (APV), realizada com base nas imagens do *Google Earth*. Foi avaliado um trecho de aproximadamente 70 km, do leito principal do Arroio Candiota, e apenas na porção inicial foram encontrados empreendimentos e conjuntos habitacionais. A Figura 21 apresenta a localização das APV encontradas, enquanto o Quadro 48 traz a identificação das estruturas.

Quadro 48. Áreas Potencialmente Vulneráveis a jusante da Barragem II

Área Potencialmente Vulnerável	Legenda
APV 1	Usina termelétrica de Candiota
APV 2	Estação elevatória de água
APV 3	Barragem de nível (Barragem I)
APV 4	Conjunto de residências
APV 5	Atividade de mineração
APV 6	Indústrias
APV 7	Ponte

Assim, com base nestas imagens, é possível classificar o potencial de perdas de vidas humanas como **EXISTENTE**, uma vez que há, logo a jusante da Barragem II a APV 4, que, por se tratar de um conjunto de residências, possui ocupação permanente. Ainda, o impacto socioeconômico foi classificado como **MÉDIO**, uma vez que há indústrias (APV 1, APV 5 e APV 6), e outras instalações de interesse, como as APV 2, 3 e 7.

Figura 21. Áreas Potencialmente Vulneráveis (APV) a jusante da Barragem



b. Impacto ambiental

Foram avaliadas informações provenientes das bases de Sistemas Geográficos de Informações (SIG) do Ministério do Meio Ambiente (MMA), da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Fundação Nacional do Índio (FUNAI), bem como dados de uso e ocupação do solo para o ano de 2020.

Nas primeiras bases, foi encontrada apenas uma área de interesse ambiental, a Reserva biológica Biopampa, que está localizada a cerca de 40 km da Barragem II e está distante 3 km do trecho pelo qual segue o Arroio Candiota. A análise de uso e ocupação do solo permitiu visualizar que grande parte do trecho de jusante do barramento é ocupado pelo cultivo de soja e pastagens, entretanto, ainda há cobertura significativa de vegetação de florestal, o que justifica a classificação da Barragem II como de risco ambiental intermediário, na classe **SIGNIFICATIVO**. O Quadro 49 apresenta a classificação final de Dano Potencial Associado obtida.

Quadro 49. Classificação da Barragem II quanto ao Dano Potencial Associado (DPA)

Volume total do reservatório	Potencial de perda de vidas humanas	Impacto Ambiental	Impacto socioeconômico
Pequeno (1) ≤ 5 milhões m ³	INEXISTENTE (0) - não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem	POUCO SIGNIFICATIVO (1) – quando a área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais	INEXISTENTE (0) – quando não existe quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem
Médio (2) 5 milhões até 75 milhões m³	POUCO FREQUENTE (4) - não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local	SIGNIFICATIVO (2) – (quando a área afetada incluir áreas de proteção de uso sustentável – APA, FLONA, RESEX, etc. – ou quando for áreas de interesse ambiental e encontrar-se pouco descaracterizada de suas condições iniciais	BAIXO (1) – quando existirem de 1 a 5 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou infraestrutura na área afetada da barragem
Grande (3) 75 milhões a 200 milhões de m ³	FREQUENTE (8) - não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas	MUITO SIGNIFICATIVO (5) – quando a área afetada incluir áreas de proteção integral – ESEC, PARNA, REBIO, etc. inclusive Terras Indígenas – ou quando for de grande interesse ambiental em seu estado natural	MÉDIO (3) – quando existem mais de 5 até 30 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou infraestrutura na área afetada da barragem
Muito grande (5) ≥ 200 milhões m ³	EXISTENTE (12) – existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas		ALTO (8) – Existe grande concentração de instalações residenciais, comerciais, agrícolas, industriais de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação

Fonte: adaptado de Resolução ANA Nº 132/ 2016

9.3. REAVALIAÇÃO DO CRI E DPA

A partir dos critérios de classificação de CRI e DPA, os quadros a seguir apresentam os resultados para a Classificação de risco da barragem, conforme a Resolução CNRH Nº 143/ 2012 e a Resolução ANA

nº236/2017. Assim; o Quadro 50 e o Quadro 51 apresentam a pontuação da Barragem II com relação à Análise de Risco, e o Quadro 52 apresenta os resultados de Dano Potencial Associado. Enfim, o Quadro 53 traz o resultado de classificação da barragem.

Quadro 50. Pontuação da Barragem II quando à avaliação das classes de categoria de risco

Classe	Pontuação
Características técnicas (CT)	21
Estado de Conservação (EC)	9
Plano de Segurança de Barragens (PS)	4
Total (CT + EC + PS)	34

Fonte: adaptado de Resolução CNRH Nº 143/ 2012

Quadro 51. Pontuação da Barragem II quando à avaliação das classes de categoria de risco

Categoria de risco	Pontuação
ALTO	≥ 60 ou $EC \geq 8$
MÉDIO	35 até 60
BAIXO	≤ 35
Resultado Barragem II	34 - BAIXO

Fonte: adaptado de Resolução CNRH Nº 143/ 2012

Quadro 52. Pontuação da Barragem II quando à avaliação das classes de dano potencial associado

Categoria de risco	Pontuação
ALTO	≥ 16
MÉDIO	$10 < DPA < 16$
BAIXO	≤ 10
Resultado Barragem II	19 - ALTO

Fonte: adaptado de Resolução CNRH Nº 143/ 2012

Quadro 53. Matriz para classificação das Barragens conforme resolução ANA nº236/2017

Categoria de risco	Dano potencial associado		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	A	C	D
BAIXO	A	D	D

Fonte: adaptado de Resolução ANA nº236/2017

Conforme a as Resoluções CNRH nº 143/2012, ANA nº132/2016 e ANA 236/2017, a classificação da categoria de risco da Barragem II é **CLASSE A**, sendo o *Risco BAIXO* e o *Dano Potencial Associado ALTO*. Assim, a barragem permaneceu com a mesma classe da avaliação anterior, realizada em 2013, apresentada no Ofício 1378/2013 SRE-ANA - Documento nº 00000.028001/2016-41.

Segundo a Resolução ANA 236/2017, barramentos classificados como Classe A devem ter sua Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB) realizada a cada 5 anos e suas Inspeções de Segurança Regulares deverão ser realizadas anualmente. Ainda, para barragens de Classe A, há a exigência de apresentação do Plano de Ação de Emergência (PAE), elaborado conforme a Lei Federal nº 12.234/2010 e revisado a cada atualização do RPSB, ou seja: a cada 5 anos.

Desde a avaliação da ANA em 2013, houve alterações nas classes de Risco Potencial para a Barragem II, conforme disposto e justificado no Quadro 54:

Quadro 54. Alterações no CRI para a Barragem II desde a avaliação realizada pela ANA em 2013

Classe de risco	Item	Índice anterior (ANA, 2013)	Índice atualizado	Observações/justificativas
Características técnicas (CT)	Idade da barragem	Pontuação 1 – 42 anos	Pontuação 5 - ≥ 50 anos	-
	Tipo de fundação	Pontuação 5 – Solo residual	Pontuação 4 - Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto	As fundações da barragem são parte de rocha alterada fraturada e parte de saprolito
Estado de conservação (EC)	Percolação	Pontuação 0 (choveu no dia da inspeção)	Pontuação 3 – Umidade ou surgências nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas	Inspeção Especial realizada em 27/07/2021. O relatório REL-209-2020-HID-03-00 apresenta os resultados da Inspeção Especial de Segurança da Barragem.
Plano de segurança de barragens (PSB)	Existência de documentação de projeto	Pontuação 2 – “como construído”	Pontuação 4 – possui apenas projeto básico de alguns elementos e anteprojeto.	Não foram apresentadas as documentações de projeto executivo nem de “como construído”.
	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem	Pontuação 4 – não possui	Pontuação 0 – possui estrutura organizacional e responsável técnico	-
	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e monitoramento	Pontuação 3 – possui e aplica apenas procedimentos de inspeção	Pontuação 0 - possui e aplica apenas procedimentos de inspeção e monitoramento	-

Já a avaliação de Dano Potencial Associado teve seus índices alterados pela legislação entre uma inspeção e outra: o documento da ANA de 2013 foi desenvolvido com base nas classes de Dano Potencial da Resolução CNRH nº 143/2012, entretanto, esta resolução foi alterada, em 2016, pela Resolução ANA nº132/2016, que atualizou as pontuações referentes a cada item. Assim, nesta Avaliação da Categoria de Risco, as pontuações quantitativas dos itens estão diferentes do relatório anterior. As classificações de volume total do reservatório, potencial de perda de vidas humanas e impacto ambiental não tiveram alterações nas suas avaliações qualitativas. Desta forma, em ambas as avaliações, corresponderam respectivamente a: médio, existente e significativo. Já a avaliação do impacto socioeconômico passou de baixo para médio, com a identificação de mais de cinco instalações residenciais, comerciais, agrícolas, industriais ou infraestrutura na área afetada da barragem.

Dentre os itens avaliados há possibilidades de melhorias principalmente nos relacionados ao estado de conservação (EC) da Barragem II, com a observação, o monitoramento e a melhoria das condições das percolações, deformações, trincas e recalques. Além disso, devem ser monitoradas e eventualmente corrigidas as deteriorações nos taludes, com a retirada da vegetação de médio e grande portes. Ainda, a recuperação das documentações do barramento, como o projeto executivo e o projeto “como construído” também são medidas necessárias para melhoria da avaliação de Risco. Destaca-se que, mesmo com melhoria do Risco, a Categoria de Risco da Barragem II não será alterada, uma vez que o Dano Potencial Associado foi considerado alto, e é estabelecido em função dos empreendimentos e ocupações a jusante do barramento.

10. REVISÃO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Documento de referência: REL-209-2020-HID-07-00 – Relatório dos Estudos Hidrológicos

A Revisão dos Estudos Hidrológicos teve como principais objetivos estudar a dinâmica do reservatório para cheias com diferentes períodos de recorrência, de forma a fundamentar a avaliação hidráulica das estruturas extravasoras e dissipadoras, realizar o balanço entre disponibilidades e demandas, visando avaliar se o reservatório tem capacidade de atender com segurança a demanda planejada e atualizar as regras de operação do reservatório, no sentido de garantir a segurança das populações e benfeitorias a montante do reservatório e das estruturas associadas a barragem.

10.1. CARACTERIZAÇÃO REGIONAL DA BACIA HIDROGRÁFICA

Inicialmente, foram obtidos e atualizados os dados básicos de hidrologia, tais como as características fisiográficas da bacia, climáticas e de uso e ocupação do solo, e características pluviométricas (precipitações anuais, mensais e máximas diárias) e fluviométricas (séries históricas com médias diárias e séries de vazões extremas). Junto a isso, foram pesquisados registros de vazões de cheia, leituras de níveis de água no reservatório, registros de operação das comportas, entre outros.

O Quadro 55 apresenta os parâmetros fisiográficos obtidos para a bacia da Barragem II, sendo apresentado, na Quanto ao clima regional, a área se caracteriza como uma zona de clima subtropical úmido, com umidade durante o inverno e verões quentes. A partir de dados da estação meteorológica do INMET - código 83890 – Bagé, existente na região e tomada como representativa das características climatológicas no local da barragem, foi determinada a distribuição de temperaturas médias, máximas, mínimas e evaporação (Figura 23) e a distribuição média mensal de precipitações (Figura 24). Pela observação da distribuição pluviométrica regional, é possível observar que o trimestre mais chuvoso ocorre entre dezembro e fevereiro, coincidindo com os meses de temperaturas mais elevadas, enquanto o período de três meses com menores pluviosidades se dá entre junho e agosto – correspondendo ao inverno. A precipitação anual da estação analisada é de 1558,3 mm.

Figura 22 é apresentado o mapa da bacia de drenagem com exutório na barragem.

Quadro 55. Parâmetros fisiográficos para a bacia da Barragem II

Bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	Coefficiente de compacidade	Fator de forma	Índice de circuncidade
Barragem II	298	111,5	1,8	0,4	0,3
Amplitude altimétrica (m)	Comprimento do rio principal (km)	Declividade do rio principal (m/m)	Tempo de concentração (h)		
			Kirpich (Silveira, 2005)	DNOS (Silveira, 2005)	Kirpich Modificado (DNIT, 2005)
173	29,7	0,00582	6,6	11,9	9,8

Quanto ao clima regional, a área se caracteriza como uma zona de clima subtropical úmido, com umidade durante o inverno e verões quentes. A partir de dados da estação meteorológica do INMET - código 83890 – Bagé, existente na região e tomada como representativa das características climatológicas no local da barragem, foi determinada a distribuição de temperaturas médias, máximas, mínimas e evaporação (Figura 23) e a distribuição média mensal de precipitações (Figura 24). Pela observação da distribuição pluviométrica regional, é possível observar que o trimestre mais chuvoso ocorre entre dezembro e fevereiro, coincidindo com os meses de temperaturas mais elevadas, enquanto o período de três meses com menores pluviosidades se dá entre junho e agosto – correspondendo ao inverno. A precipitação anual da estação analisada é de 1558,3 mm.

Figura 22. Bacia de drenagem da Barragem II.

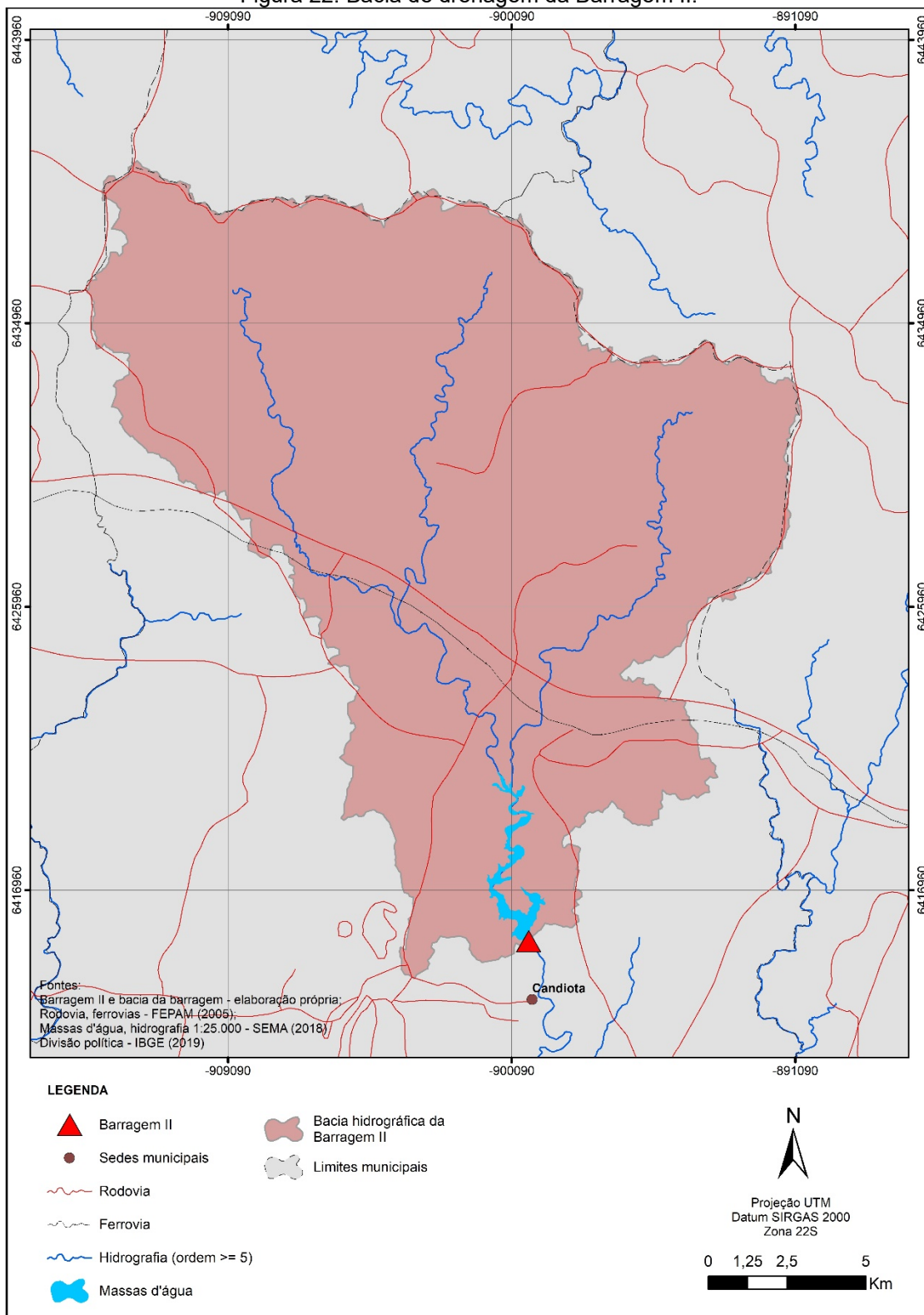


Figura 23. Temperaturas e evaporação para a estação 83980 do INMET.

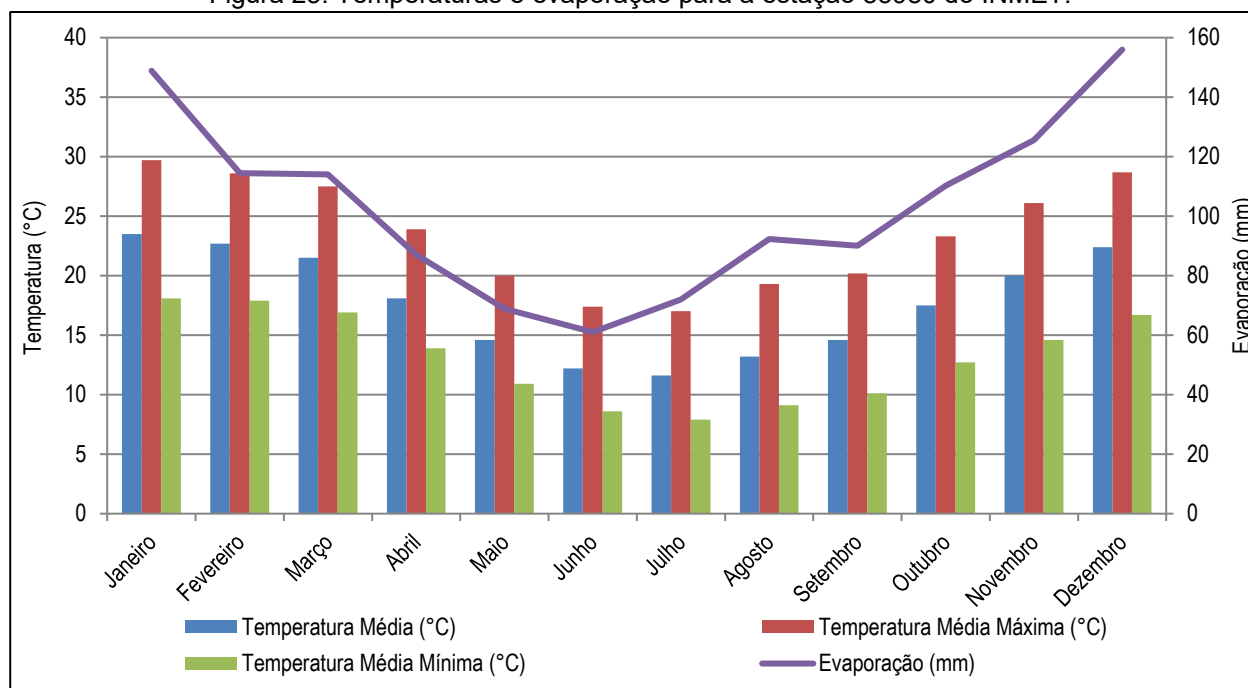
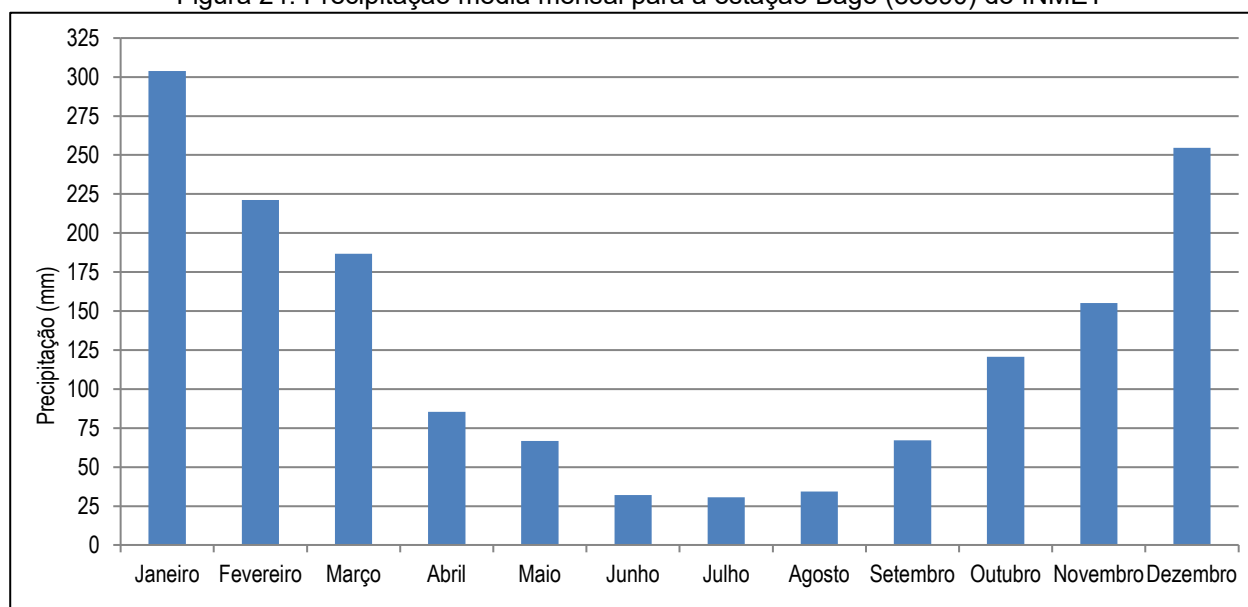


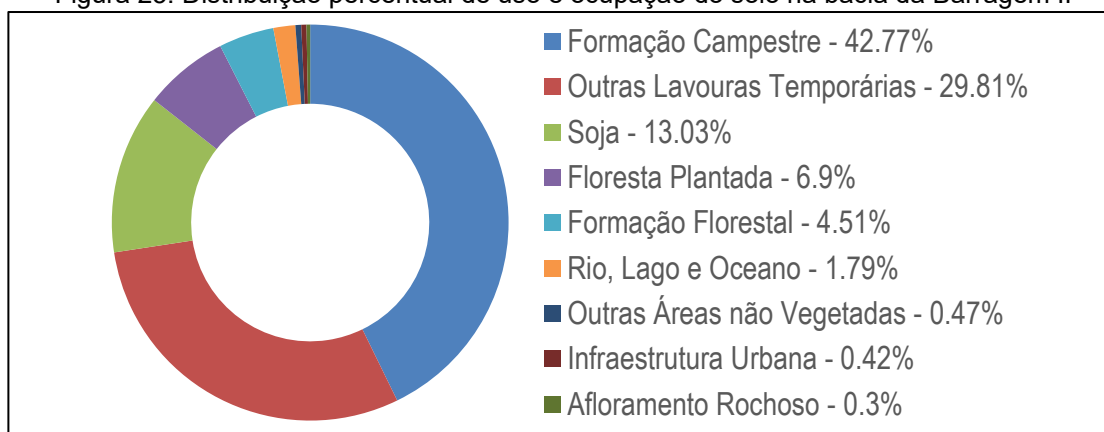
Figura 24. Precipitação média mensal para a estação Bagé (83890) do INMET



Ainda, foram verificadas as características de uso e ocupação do solo na bacia de drenagem da Barragem II, com base nas informações do Projeto MapBiomias (MAPBIOMAS,2021), representada na Figura 25, bem como distribuição dos tipos de solos existentes, a partir das classificações de SiBCS (2018) e sintetizada no Quadro 56.

O parâmetro adimensional Curva-Número (CN), utilizado no método de geração de escoamento superficial a partir de um evento de chuva desenvolvido, e que determina a parcela da precipitação que efetivamente esco a partir de certo evento de chuva em uma bacia, com base na avaliação da capacidade máxima de infiltração do solo, obtido do cruzamento das informações de caracterização da bacia foi de **CN=79**.

Figura 25. Distribuição percentual de uso e ocupação do solo na bacia da Barragem II



Quadro 56. Percentuais de tipos de solos na bacia hidrográfica da Barragem II.

Classe de uso e ocupação do solo	Área ocupada (km ²)	Percentual
Área urbana	1,11	0,37%
PVd - Argissolo Vermelho Distrófico	3,77	1,27%
Corpos d'água	4,06	1,36%
MEk - Chernossolo Ebânico Carbonático	5,78	1,94%
RLe - Neossolo Litólico Eutrófico	43,69	14,67%
PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	239,31	80,38%

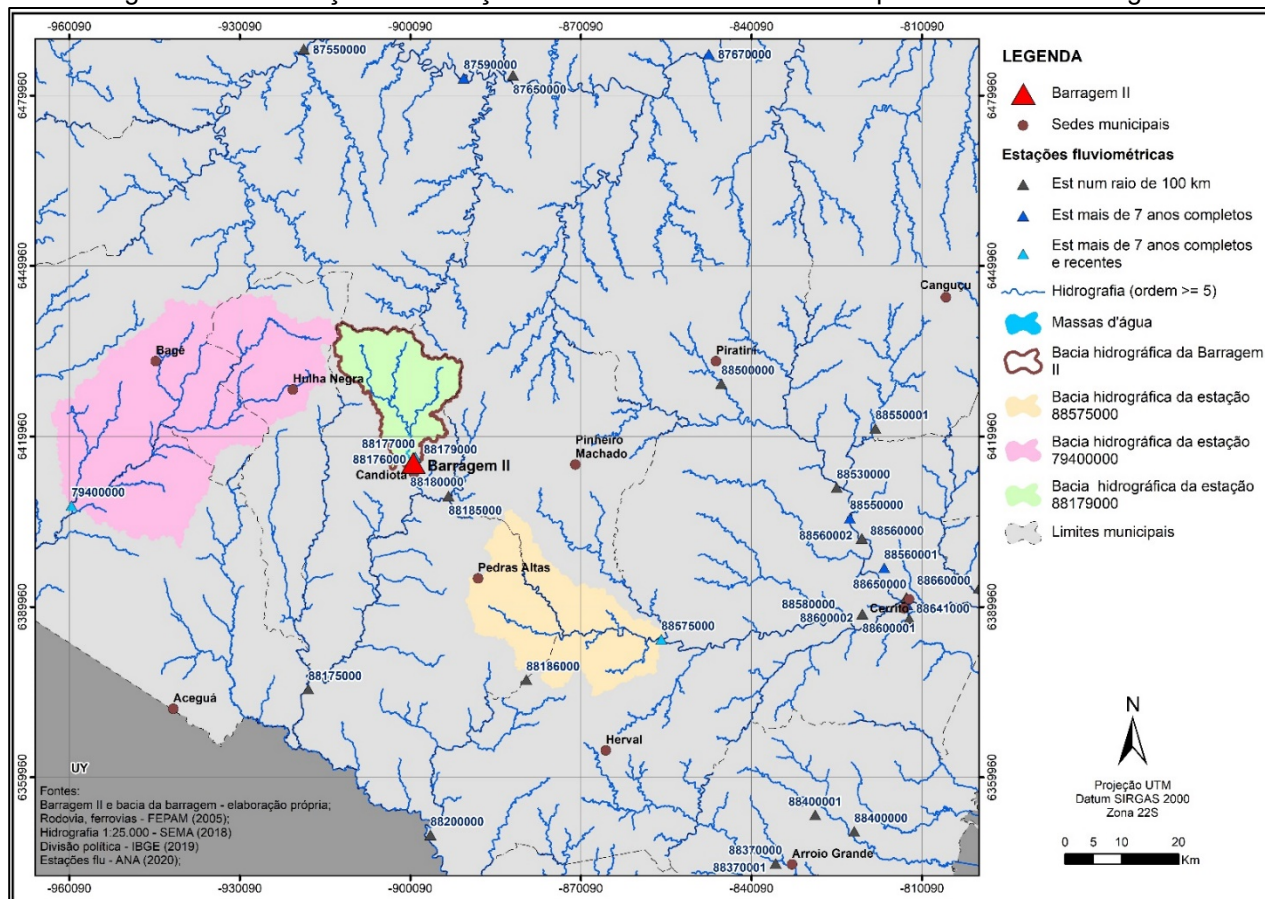
10.2. COLETA, ANÁLISE E CONSOLIDAÇÃO DAS INFORMAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS

Como dados de entrada para o estudo hidrológico foram utilizadas séries de estações pluviométricas e fluviométricas obtidas através do Portal Hidroweb (HIDROWEB, 2021), que integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). A plataforma é gerida pela ANA (Agência Nacional das Águas) e contém as informações e as séries históricas das estações integrantes da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), que consiste em um conjunto de estações pluviométricas e fluviométricas mantidas e operadas por diversas entidades públicas e privadas.

As estações fluviométricas foram selecionadas (Figura 26), considerando:

- Estações dentro de um círculo com raio de 100km centrado na barragem, totalizando 42 estações (filtro 0);
- Estações com 7 ou mais anos de dados completos, totalizando 10 estações (filtro 1);
- Estações com 7 ou mais anos de dados completos e com área de drenagem adequada, compatível com a área da bacia da Barragem II, ou seja: até 3 e 4 vezes maiores ou menores, totalizando em 4 estações (filtro 2);

Figura 26. Localização das estações fluviométricas selecionadas para o estudo hidrológico



Por sua vez, as estações pluviométricas (Figura 27) foram selecionadas pelos critérios:

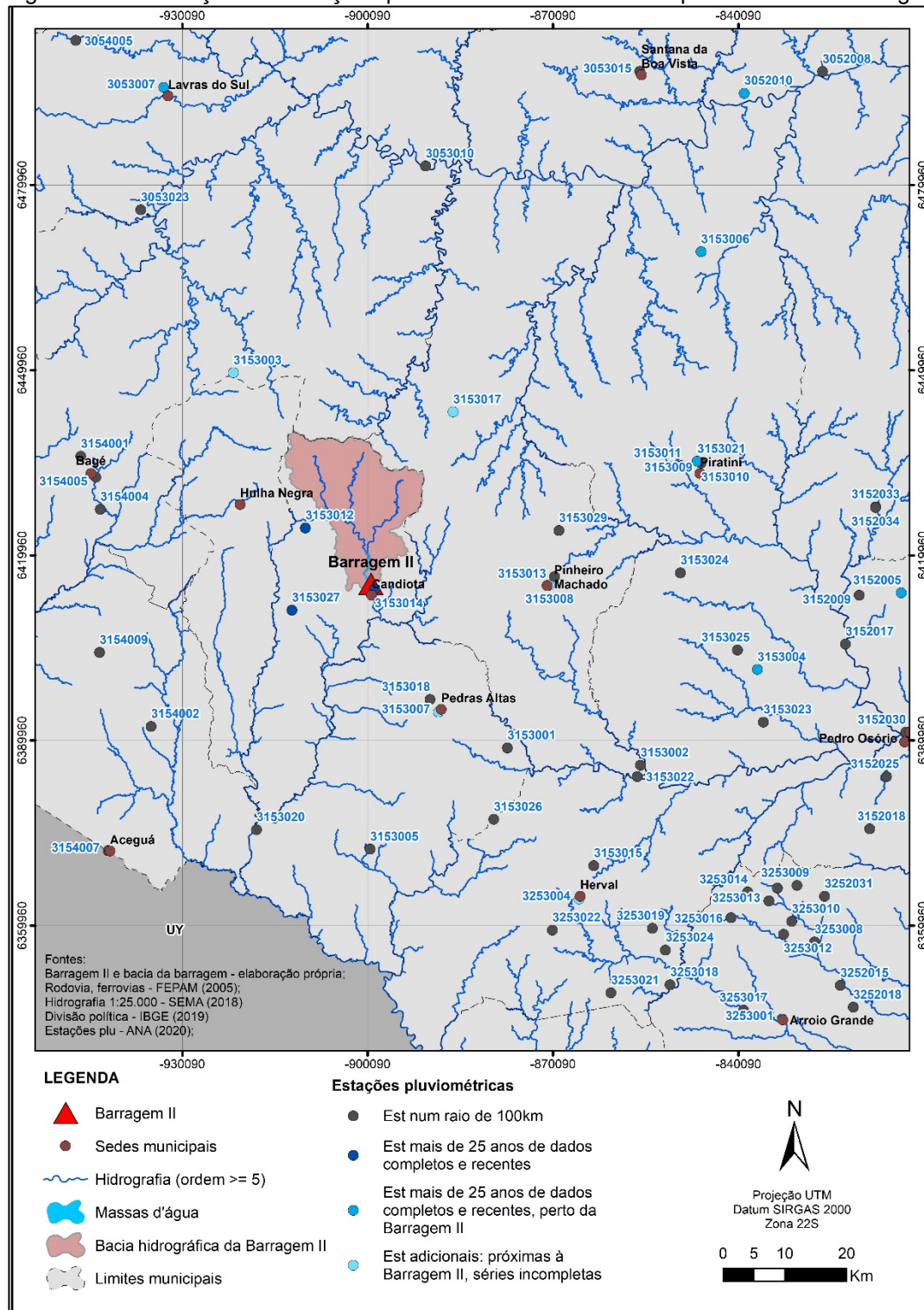
- Estações dentro de um círculo com raio de 100km centrado na barragem, totalizando 75 estações (filtro 0);
- Estações com 25 ou mais anos de dados completos e recentes, totalizando 15 estações (filtro 2);
- Estações com 25 ou mais anos de dados completos e recentes e localizadas próximas à bacia hidrográfica da Barragem II, totalizando 5 estações (filtro 3);
- À estas estações foram adicionadas outras 3 estações, localizadas na bacia da Barragem II e nas proximidades, porém com dados insuficientes. Essas estações foram utilizadas como base para validação e comparação de volumes com as estações utilizadas (filtro 1).

Também foi realizado o preenchimento de falhas nas séries de dados de precipitação, conforme item 6.3 do documento do relatório REL-209-2020-HID-07-00. Dados de precipitação diária, entre 2011 e 2021, em um conjunto de estações monitoradas pelo empreendedor não puderam ser aproveitados devido a pequena extensão das séries e grande número de falhas de preenchimento de dados (nenhum ano monitorado com menos de 70% de falhas).

Sobre dados de descarga dos órgãos extravasores e vazões afluente ao reservatório, não há registros existentes. Contudo, em cumprimento das exigências da outorga da Barragens I e II, ressalta-se que há monitoramento da descarga sólida e parâmetros da qualidade da água em dois pontos a montante do reservatório Arroio Candiota Montante (ACM) e Sanga Funda Montante (SFM), cujos dados são compilados

em relatórios mensais. Isso indica a possibilidade do monitoramento fluviométrico nesses locais, com intuito de monitorar as vazões afluentes ao reservatório.

Figura 27. Localização das estações pluviométricas selecionadas para o estudo hidrológico



Em relação aos dados de níveis, há uma régua graduada instalada no reservatório, conforme Figura 28, pela qual ocorre a medição do nível três vezes ao dia, uma vez por turno. Contudo, a equipe informou que os dados não estão digitalizados ou mesmo tabulados, estando documentados em diferentes relatórios. Assim, não se teve acesso aos dados para análise do nível do reservatório ao longo do tempo.

Figura 28. Localização da régua graduada no reservatório



10.3. DETERMINAÇÃO DOS HIDROGRAMAS AFLUENTES AO RESERVATÓRIO

Foram analisados dois modelos para determinação dos hidrogramas afluentes ao reservatório, com vistas a selecionar o modelo mais adequado a ser empregado no estudo em questão:

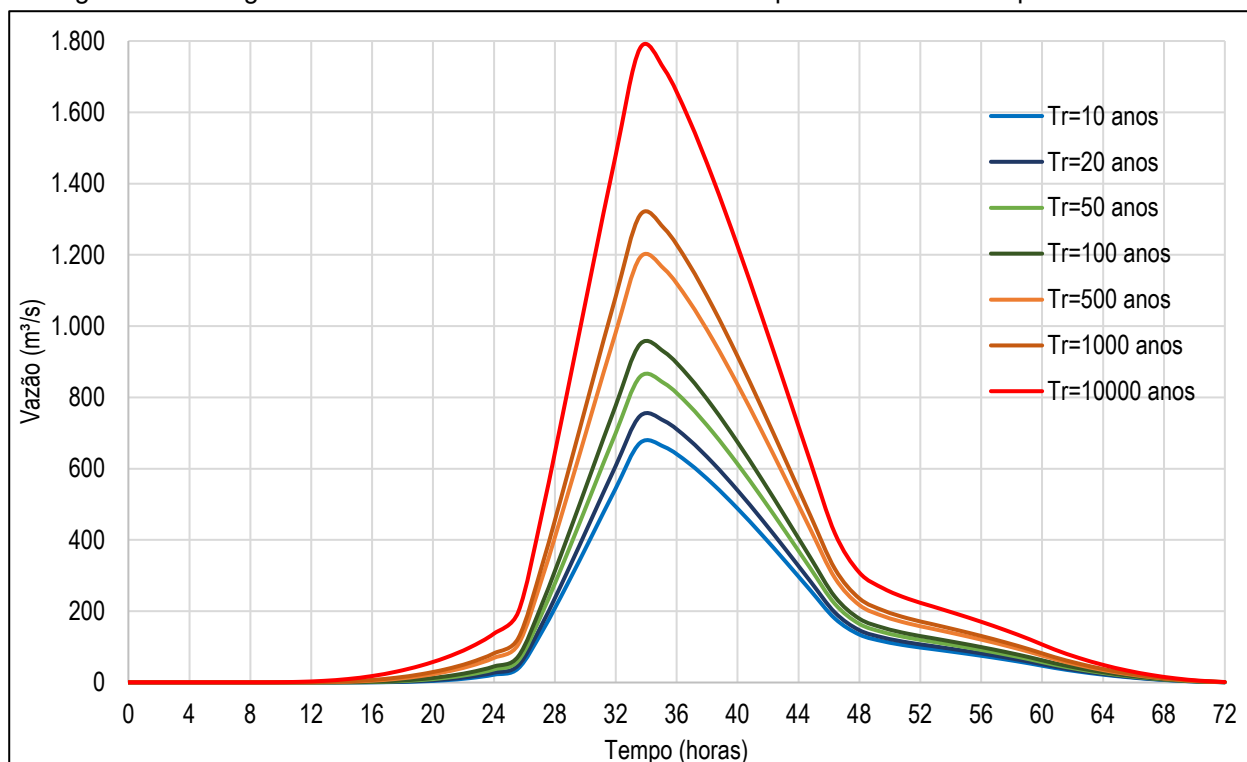
- **Método estático com dados de vazão:** avaliação estatística das vazões máximas será conduzida através da regionalização da curva de probabilidade de vazões máximas de diferentes estações fluviométricas e regionalizando esses valores em função de variáveis explicativas, como área da bacia, precipitação, declividade e comprimento do rio, entre outras, para a bacia de análise.
- **Modelo chuva-vazão – Método SCS-CN:** essa metodologia é baseada em duas análises distintas: a obtenção do coeficiente Curva-Número, aplicado para separação do escoamento, e a obtenção do Hidrograma Unitário Triangular (HUT), que permite calcular a geração de escoamento na bacia. Estes dois métodos são combinados para a obtenção do hidrograma de projeto, a partir da convolução do hietograma de projeto com o hidrograma unitário. Analogamente ao que ocorre com vazões extremas, as chuvas mais intensas ocorrem com menores frequências. Assim, o estudo das chuvas intensas é necessário para a determinação de hietogramas de projeto, com base na equação IDF, que relaciona a intensidade das chuvas com suas frequências e durações em cada posto pluviométrico, de forma que um evento crítico de chuva pode ser construído artificialmente, com base em características estatísticas dos eventos observados.

A pormenorização das metodologias de análise e memórias de cálculo pode ser detalhadamente consultada no documento REL-209-200-HID-07-00.

Observou-se que os hidrogramas afluentes estimados pelos dois métodos em questão podem ser considerados equivalentes, enquanto que os hidrogramas efluentes são bastante similares, sendo que hidrograma gerado pelo método estatístico apresenta vazões de magnitude um pouco mais elevadas e, conseqüentemente, o nível d'água (NA) máximo verificado foi superior, equivalente a 209,07 m, enquanto

que o NA máximo resultante do hidrograma estimado pelo método SCS, com TR igual a 1.000, foi igual a 208,89 m. Em virtude da proximidade dos resultados, julgou-se mais adequada a utilização dos hidrogramas gerados pelo método SCS, uma vez que o método estatístico apresenta importantes incertezas atreladas, como a forma de estimativa do volume dos hidrogramas. Assim, a Figura 29 apresenta dos hidrogramas afluentes ao reservatório, estimados pelo método SCS, para os tempos de retorno de 10, 20, 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos.

Figura 29. Hidrogramas afluentes ao reservatório calculados para diferentes TRs pelo método SCS

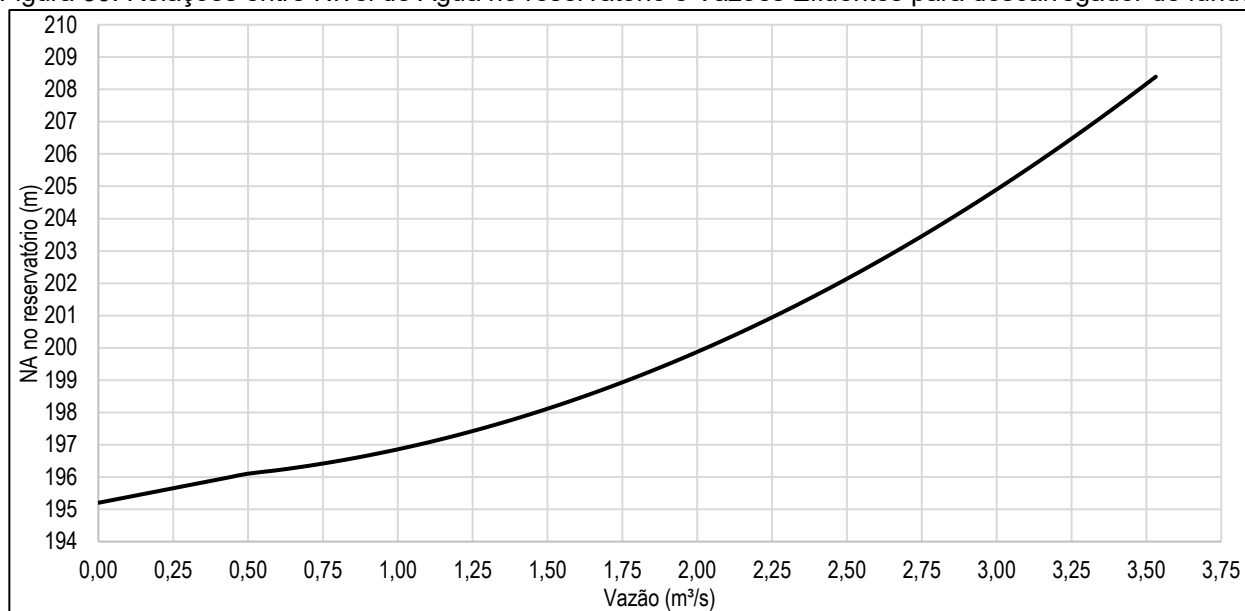


10.4. AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE DESCARGA

A Figura 30 apresenta a relação entre cota e descarga através da estrutura que possibilita o escoamento da vazão remanescente no rio. Para a definição dos valores foi utilizada uma equação de orifícios, considerando descarga livre através de uma comporta com 0,50 m de largura e 0,70 m de altura, com centro na elevação 195,85m, com coeficiente de descarga $C=0,64$ (coeficiente ajustado considerando-se comporta rente ao fundo do canal de aproximação).

As curvas de descarga calculadas para diferentes aberturas das comportas são apresentadas no capítulo 14 (Figura 57 e Figura 58), proveniente do Relatório de Avaliação das Estruturas Extravasoras, Dissipadoras de Energia e de Operação (REL-209-2020-HID-11-00).

Figura 30. Relações entre Nível de Água no reservatório e Vazões Efluentes para descarregador de fundo.



10.5. AMORTECIMENTO DE CHEIAS

O estudo de amortecimento das cheias no reservatório, definindo os níveis de água para diferentes vazões afluentes ao reservatório, a partir da curva de descarga do vertedouro, foi elaborado através da aplicação do método de Puls, que consiste em um modelo para propagação da vazão ao longo do reservatório. Os dados de entrada para tal finalidade consistiram nos hidrogramas afluentes ao reservatório, na curva cota-área-volume e na relação cota-vazão das estruturas de descarga associadas à barragem.

Os hidrogramas afluentes utilizados são os hidrogramas de projeto apresentados no item 10.3, que foram obtidos utilizando o modelo de chuva-vazão SCS. Em relação aos demais dados de entrada, utilizou-se a curva cota-área-volume de projeto e a curva de descarga do vertedouro.

Assim, foram simulados sete cenários, utilizando em cada um os seguintes hidrogramas de entrada: hidrogramas com 10, 20, 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos de tempo de retorno. Nas simulações considerou-se que o reservatório estava no nível máximo normal (207,70 m) no início da simulação e o intervalo de tempo utilizado para a aplicação do método é o mesmo tempo utilizado para a discretização dos hidrogramas de projeto (96 min).

O Quadro 57 apresenta os resultados das simulações. Verifica-se que o amortecimento da vazão de pico varia de 0% no caso das vazões com tempos de retorno inferiores a 20 anos a 25% para a vazão decamilenar. De forma preliminar, verifica-se que as cheias analisadas atingem níveis menores que a cota da crista da barragem (210 m), exceto pela decamilenar, que pelo amortecimento da vazão observado, atingiria a barragem com um nível de água de 210,13 m. A partir desses resultados, torna-se possível realizar a verificação da cota da crista da barragem e a verificação da bacia de dissipação, apresentadas no Relatório de Avaliação das Estruturas Extravasoras, Dissipadoras de Energia e de Operação (REL-209-2020-HID-11-00).

Por fim, a Figura 31 apresenta a variação do nível de água na barragem ao longo do período simulado para as TR 100, 500, 1.000 e 10.000 anos e a Figura 32 e a Figura 33 apresentam, respectivamente, os hidrogramas afluentes e efluentes ao reservatório para os TR 10, 20 e 50 anos e TR 100, 500, 1.000 e 10.000 anos.

Quadro 57. Amortecimento das cheias de projeto simuladas para o reservatório da Barragem II

Vazão de projeto	Nível de água (m)	Vazão afluyente (m ³ /s)	Vazão efluente (m ³ /s)	Amortecimento da vazão de pico (%)
Tr=10 anos	207,70	672,0	672,0	0%
Tr=20 anos	207,70	747,7	747,7	0%
Tr=50 anos	207,73	857,9	838,9	2%
Tr=100 anos	207,92	949,5	874,5	8%
Tr=500 anos	208,56	1.192,6	1.003,3	16%
Tr=1.000 anos	208,89	1.311,8	1.071,9	18%
Tr=10.000 anos	210,13	1.780,4	1.341,1	25%

Figura 31. Variação do nível do reservatório das cheias com TR 100, 500, 1.000 e 10.000 anos

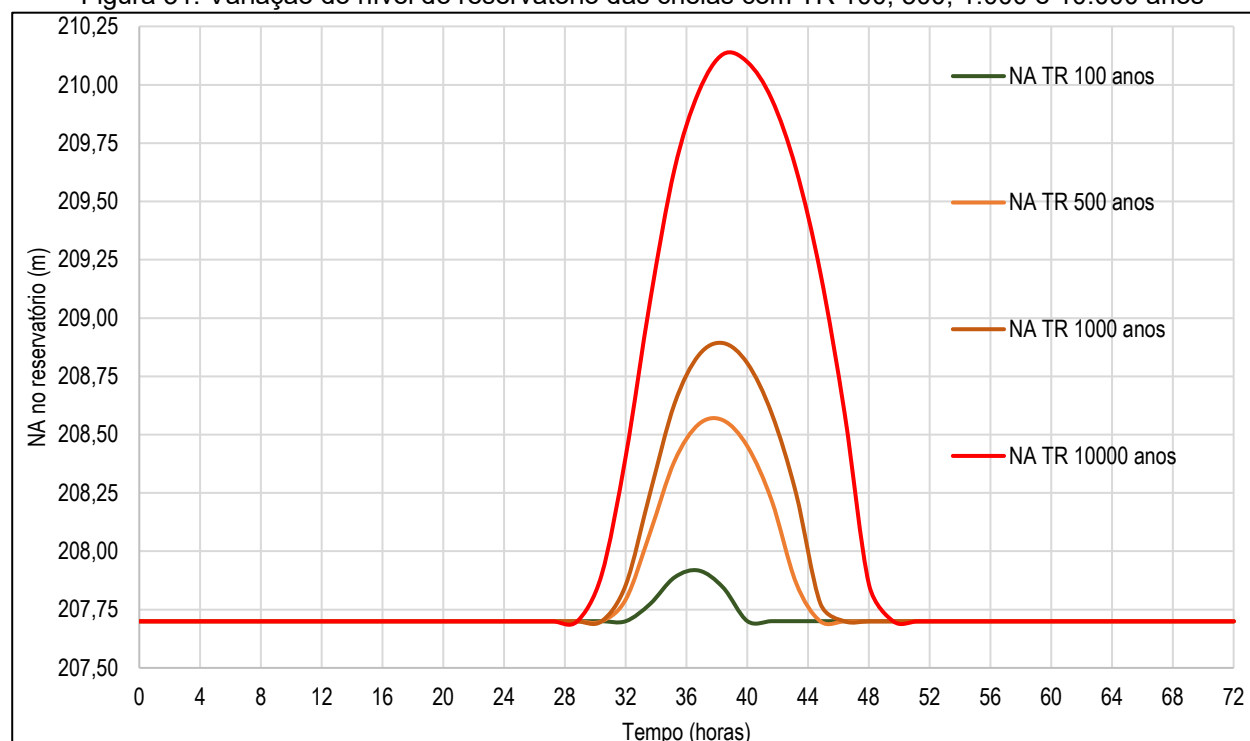


Figura 32. Hidrogramas afluentes e efluentes ao reservatório - TRs 10, 20 e 50 anos

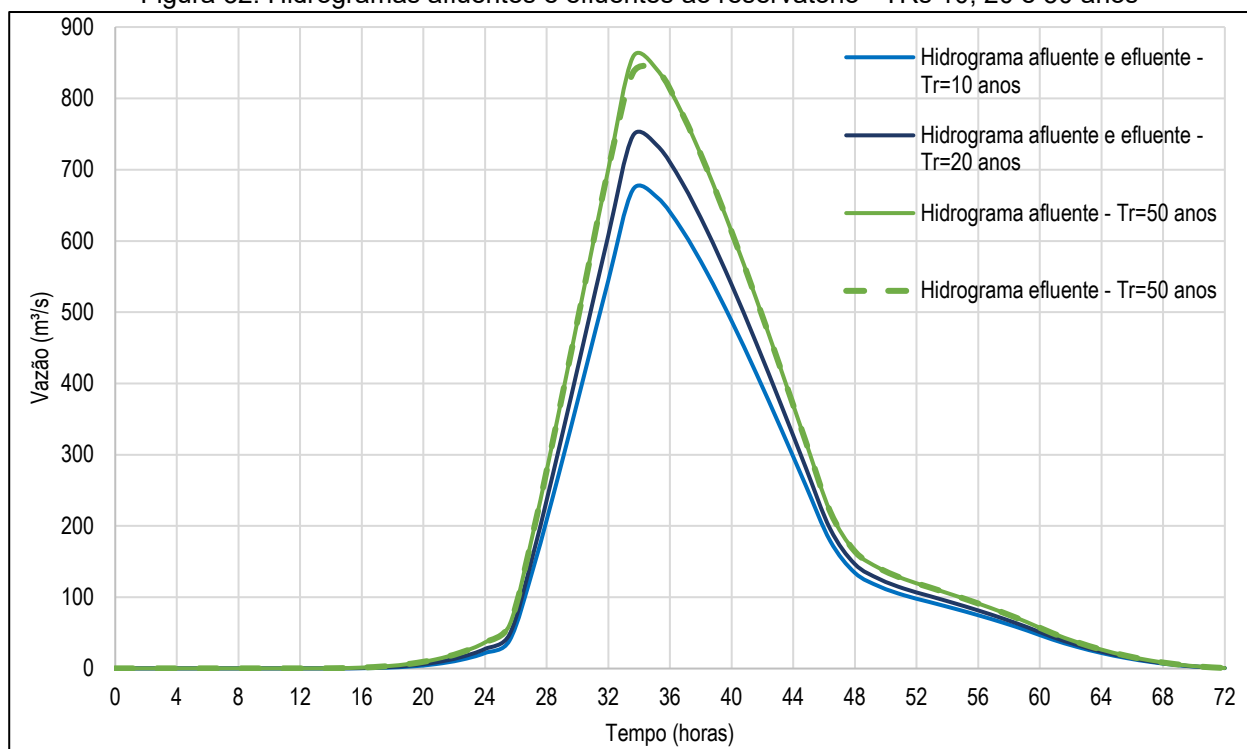
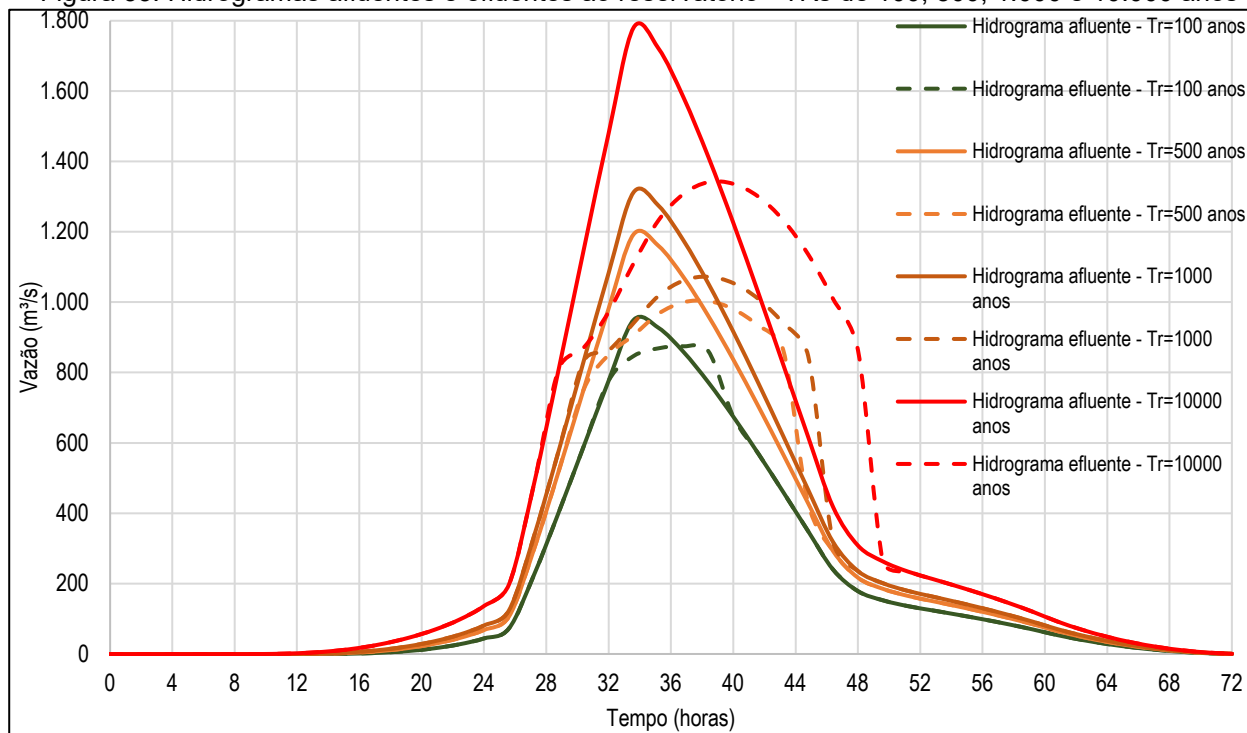


Figura 33. Hidrogramas afluentes e efluentes ao reservatório - TRs de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos



10.6. BALANÇO HÍDRICO

A realização do balanço hídrico teve como objetivo a verificação se, ao longo do tempo, considerando as demandas e as disponibilidades, o reservatório tem capacidade de regularizar a vazão prevista. No estudo foi utilizado o método da simulação, apresentado em Lanna e Tucci (2001), para a realização do balanço hídrico diário no reservatório da Barragem II. O método se baseia na resolução da equação da continuidade

a cada intervalo de tempo, considerando as entradas e saídas no reservatório. As informações utilizadas para a simulação diária de um certo período de operação do reservatório da Barragem II, consistiram basicamente em:

- Série de vazões afluentes ao local de barramento: as vazões afluentes relacionam-se a uma série de vazões diárias representativas da seção do barramento com um certo número de anos;
- Série de precipitações e evaporações na área do reservatório: séries históricas de precipitação e evaporação diária das estações representativas da seção do barramento com período coincidente ao utilizado para a série de vazões;
- Demandas existentes na bacia que contribuí ao reservatório: demandas de irrigação e demandas urbanas;
- Detalhamento físico do reservatório, que consiste nas relações entre cota, área e volume do reservatório, já descritas anteriormente;
- Detalhamento da demanda máxima da usina a ser atendida, definida conforme outorga vigente;
- Demanda ecológica, conforme outorga vigente.

A vazão de captação máxima e a vazão mínima para jusante foram definidas pela ANA, respectivamente, na Resolução nº 141/2016 (válida até 01/03/2026) e na Outorga nº 1965/2019 (válida até 11/09/1947). Esses documentos definiram que a vazão de captação seria de 1.900 m³/h (0,528 m³/s) e a vazão mínima remanescente não deveria ser inferior a 0,634 L/s (0,634 m³/s)¹, equivalente a vazão ecológica.

Para a definição da vazão a ser regularizada pelo reservatório, foram consultados os valores previstos em projeto e nas outorgas expedidas pela ANA para o barramento. Com isso, foram estabelecidos três cenários de simulação, baseados na demanda a ser atendida, e foram conduzidas simulações durante 19 anos (2022-2040), com intervalo de tempo de um dia. O primeiro cenário – Regularização de projeto - considera a demanda de 1 m³/s, estabelecida em projeto (CEEE, 1971). A outorga definida em 2006 pela Resolução nº 450 da ANA, que determinava que a vazão máxima de captação deveria ser da ordem de 291,7 L/s e a vazão liberada para jusante da Barragem II não deveria ser inferior a 187,0 L/s, foi avaliada no cenário denominado Outorga antiga, enquanto que as vazões de captação máxima e vazão mínima remanescente vigentes, determinadas pelos documentos Resolução nº 141/2016 e Outorga nº 1965/2019, de valor igual a, respectivamente, 527,8 L/s e 634,0 L/s, foram considerados no cenário Outorga vigente.

Os resultados do balanço hídrico diário conduzido no reservatório da Barragem II para os três cenários, que consideram que fluxos hidrológicos naturais do passado (vazão e evaporação) se reproduziriam no futuro, são apresentados no Quadro 58. Verifica-se que nos três cenários simulados o percentual de falhas não foi superior a 4%, o que indica que o reservatório consegue atender as demandas com segurança, uma vez que se costuma dimensionar reservatórios de tal tipo com risco de não atendimento de até 5%.

¹ Não se teve acesso aos documentos citados e em uma busca pela biblioteca da ANA somente foi possível averiguar a existência dos mesmos e a citação no Diário Oficial da União. Os dados citados foram retirados do relatório mensal de monitoramento dos recursos hídricos superficiais dos arroios Candiota e Sanga Funda, elaborado pela empresa Ecosis para a CGT Eletrosul, que analisa aspectos qualitativos desses cursos hídricos em atendimento às exigências impostas pela Resolução nº 141/2016 e Outorga nº 1965/2019.

Quadro 58. Resultados do balanço hídrico para o reservatório da Barragem II nos cenários simulados

Cenário	Q ecológica (m ³ /s)	Q máx. captação (m ³ /s)	Q regularizada (m ³ /s)	Q méd. longo prazo afluente (Q _{mlp_aflu} - m ³ /s)	Q média regularizada (Q _{reg} - m ³ /s)	Regularização (%)	Percentual de falhas (%)
Regularização de projeto	-	-	1,00	1,57	0,99	63,1%	0,9%
Outorga antiga (Resolução nº 450/2006)	0,1870	0,2917	0,48	1,57	0,48	30,5%	0,0%
Outorga vigente (Resolução nº 141/2016 e Outorga nº 1965/2019)	0,6340	0,5278	1,16	1,57	1,12	71,0%	4,0%

No entanto, reitera-se que os resultados do balanço, em termos de disponibilidade hídrica e risco de não atendimento das demandas são fortemente dependentes dos dados de entrada, destacando as vazões afluentes ao reservatório e a relação cota-área-volume. Por isso, recomenda-se que a CTGEE instale uma estação fluviométrica de mediação de vazão na bacia em questão e realize um monitoramento contínuo, de forma a proporcionar dados para a revisão do estudo de regularização e realize um levantamento topobatimétrico na área do reservatório visando a revisão da curva cota-área-volume. Por fim, salienta-se que as demandas de irrigação e urbana foram mantidas constantes ao longo dos 19 anos simulados em função das incertezas atreladas aos dados de entrada.

Assim, salienta-se que a carência de dados hidrológicos monitorados (vazões, níveis e precipitação) e a falta de um levantamento topobatimétrico de montante atualizado, agregou incerteza aos resultados obtidos e inviabilizou a atualização das regras de operação. Isto evidencia a necessidade do monitoramento e da atualização das informações necessárias. Nesse sentido, recomenda-se que seja realizado:

10.7. RECOMENDAÇÕES ORIUNDAS DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS

A partir das análises e inferências obtidos da revisão dos estudos hidrológicos da Barragem II do Arroio Candiota, materializaram-se as seguintes recomendações:

- Monitoramento fluviométrico diário a montante do reservatório, visando o conhecimento do regime de vazões afluentes ao reservatório. Indica-se que isso seja feito em duas seções já monitoradas (Arroio Candiota Montante (ACM) e Sanga Funda Montante (SFM)), conforme o relatório mensal de monitoramento dos recursos hídricos superficiais dos arroios Candiota e Sanga Funda, elaborado pela empresa Ecosis para a CGT Eletrosul. Deve-se verificar se nesses locais os efeitos de jusante causados pelo reservatório não são mais observados, a fim de não invalidar os resultados obtidos;
- Monitoramento pluviométrico, preferencialmente utilizando um pluviógrafo, em um local seguro e acessível próximo ao centro da bacia, com intuito de entender o comportamento das chuvas e gerar coeficientes de desagregação para a bacia, tornando possível a geração de uma curva IDF local;
- Monitoramento automático do nível no reservatório, visando o entendimento do comportamento do reservatório ao longo do tempo. Também, recomenda-se que a série já existente seja compilada e disponibilizada em formato digital para que seja possível a atualização das regras de operação.

- Levantamento topobatimétrico na área do reservatório visando a revisão da curva Cota-Área-Volume (CAV) e atualização das regras de operação do reservatório. Essa recomendação, conforme apresentada no decorrer do presente documento, tem caráter Multifinalitário, e subsidiará informações relevantes para estudos posteriores no âmbito das Revisões Periódicas de Segurança da Barragem;
- Atualização das regras de operação: essa atualização necessita do estudo das cotas seguras, ou seja, deve-se estudar se há ocupações abaixo da cota 210 m (CCB) e indicar soluções visando a segurança dessas populações, seja pela realocação, quando possível, ou pela revisão das cotas seguras de operação, a fim de não causar danos humanos e materiais a montante da barragem.

11. ESTUDO DE RUPTURA DA BARRAGEM

Documento de referência: REL-209-2020-HID-08-00 – Relatório dos Estudos de Rompimento da Barragem

Os estudos de rompimento da Barragem II do Arroio Candiota foram desenvolvidos em acordo com os critérios apresentados no item 5 do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume IV (ANA, 2016). Dessa forma, foram analisados seis cenários diferentes, sendo que cada cenário conta com um hidrograma de entrada diferente no trecho inicial do rio, o qual foi propagado ao longo do Arroio Candiota até a sua chegada no Rio Jaguarão.

Nesse sentido, o objetivo do estudo de ruptura foi a obtenção e geração dessas informações que servem de embasamento para a consolidação do Plano de Ação Emergencial da barragem observando-se a existência de uma mancha de inundação relevante ao longo de todo trecho simulado (70 km). Ressalta-se também que os resultados obtidos permitem estimar um tempo de deslocamento da ordem de 15 horas para chegar até esse ponto mais distante simulado (70km).

11.1. CENÁRIOS DE ANÁLISE

- **Cenário de operação com vertimento máximo;**

Esse cenário se configura como sendo o de operação extrema da barragem, que, sem conduzir à ruptura, pode dar origem a descargas importantes e, de igual forma, colocar em risco pessoas e bens no vale a jusante. Esse vertimento máximo está associado à abertura rápida e simultânea de todas as comportas da barragem. De forma conservadora, neste cenário é propagado para jusante o hidrograma obtido a partir da consideração do nível d'água no reservatório ser igual ao máximo *maximorum*. A vazão de base presente no curso hídrico de jusante considerada para esse cenário é igual à vazão média.

- **Cenário de ruptura da barragem por galgamento;**

De acordo com a referência utilizada para definição dos critérios, este cenário pode ser associado ao cenário de ruptura extremo. No cenário de ruptura extrema, considera-se que a formação da brecha é mais rápida e mais intensa do que a considerada no cenário de ruptura em volume mais provável. Além disso considera-se o aporte de um hidrograma de 10.000 anos de TR no reservatório, que começa a simulação com a cota da lâmina d'água sendo igual à cota da crista. A formação da brecha, por outro lado, não inicia quando a cota da lâmina d'água supera a cota da crista. A brecha começa a se formar quando o nível de água na crista supera os 0,15m de altura. A vazão de base presente no curso hídrico de jusante considerada para esse cenário é igual à vazão média.

- **Cenário de ruptura em volume mais provável;**

Neste cenário é simulado o rompimento da barragem em volume mais provável. Isso significa, segundo os guias consultados, a consideração de que a cota da lâmina d'água da barragem se encontra, no início da simulação, igual a 0,15 metros abaixo da cota da crista e que não há nenhum tipo de hidrograma relevante sendo aportado no reservatório, se considerando apenas a vazão média anual entrando no reservatório. Esse cenário procurar emular o que ocorreria no caso de rompimento em “um dia de sol”.

A vazão de base presente no curso hídrico de jusante considerada para esse cenário é igual à vazão média.

- **Cenário com propagação do hidrograma afluente ao reservatório com TR 100 anos;**

Neste cenário, hipoteticamente, considera-se que a barragem não existe, e é propagado para jusante o hidrograma com TR=100 anos afluente do reservatório. Isso significa que nesse cenário o reservatório não gera influência sobre o hidrograma de TR de 100 anos gerado pela bacia hidrográfica.

A vazão de base presente no curso hídrico de jusante considerada para esse cenário, no início da simulação, é igual à vazão média. Essa premissa parte do pressuposto que a chuva de grande intensidade ocorre apenas na área de drenagem da barragem, o que pode não ter muito sentido físico. Por outro lado, os resultados associados à essa simulação, caso se considerasse vazões de mesmo tempo de retorno em outros cursos hídricos, seriam minimizados uma vez que a inundação observada poderia estar associada não estritamente ao curso hídrico da barragem simulada.

- **Cenário com propagação do hidrograma afluente ao reservatório com TR 1.000 anos;**

Neste cenário, hipoteticamente, considera-se que a barragem não existe, e é propagado para jusante o hidrograma com TR=1.000 anos afluente do reservatório. Isso significa que nesse cenário o reservatório não gera influência sobre o hidrograma de TR de 1.000 anos gerado pela bacia hidrográfica.

A vazão de base presente no curso hídrico de jusante considerada para esse cenário, no início da simulação, é igual à vazão média. Essa premissa parte do pressuposto que a chuva de grande intensidade ocorre apenas na área de drenagem da barragem, o que pode não ter muito sentido físico. Por outro lado, os resultados associados à essa simulação, caso se considerasse vazões de mesmo tempo de retorno em outros cursos hídricos, seriam minimizados uma vez que a inundação observada poderia estar associada a não estritamente ao curso hídrico da barragem simulada.

- **Cenário com propagação do hidrograma afluente ao reservatório com TR 10.000 anos.**

Neste cenário, hipoteticamente, considera-se que a barragem não existe, e é propagado para jusante o hidrograma com TR=10.000 anos afluente do reservatório. Isso significa que nesse cenário o reservatório não gera influência sobre o hidrograma de TR de 10.000 anos gerado pela bacia hidrográfica.

A vazão de base presente no curso hídrico de jusante considerada para esse cenário, no início da simulação, é igual à vazão média. Essa premissa parte do pressuposto que a chuva de grande intensidade ocorre apenas na área de drenagem da barragem, o que pode não ter muito sentido físico. Por outro lado, os resultados associados à essa simulação, caso se considerasse vazões de mesmo tempo de retorno em outros cursos hídricos, seriam minimizados uma vez que a inundação observada poderia estar associada a não estritamente ao curso hídrico da barragem simulada.

Para cada um dos cenários acima, foram desenvolvidos mapas com velocidades, áreas alagadas e risco hidráulico em função do tempo. Os dados, mapas, extensão de área inundada e cálculos de tempo de chegada de onda de cheia calculados a partir do momento do início da ruptura da barragem são instrumentos utilizados para elaboração do Plano de Ação Emergencial (PAE), que por sua vez faz parte do Plano de Segurança de Barragens (PSB), exigido pela legislação brasileira vigente para o tipo e porte no qual se enquadra a barragem em estudo (vide Capítulo 9).

11.2. MODELAGEM HIDRODINÂMICA

A partir de uma abordagem hidrodinâmica unidimensional com uso do software HEC-RAS 6.0, foram analisados três cenários envolvendo a barragem (cenário extremo de ruptura, cenário provável de ruptura e cenário de não ruptura e operação extrema) e três cenários envolvendo a formação de cheias naturais (para 100, 1.000 e 10.000 anos de TR) considerando a inexistência da barragem. Os aspectos e subsídios

específicos para cada cenário, bem como metodologias de cálculo da parametrização dos modelos podem sem consultados detalhadamente no documento de referência. Em suma, foram considerados:

- **Formação da Brecha de Ruptura**

Por formação de brecha entende-se a definição do tamanho e do tempo de formação da brecha, que estão tipicamente associados a definição dos seguintes aspectos: (i) forma da brecha; (ii) altura estimada; (iii) largura da base; (iv) inclinação da brecha; (v) tempo de formação e; (vi) taxa de crescimento da brecha. A partir das recomendações de Eletrobrás (2003) e USACE (2014), buscando uma análise conservadora, considerou-se que a altura da brecha é igual à altura da barragem em ambos os cenários.

- **Hidrogramas de ruptura e hidrogramas de vazões naturais**

Determinação dos hidrogramas utilizados nos cenários, conforme recomendações de literatura técnica e informações inerentes a revisão dos estudos hidrológicos (REL-209-2020-HID-07-00).

Figura 34. Hidrograma de ruptura no cenário de ruptura por galgamento (cenário extremo)

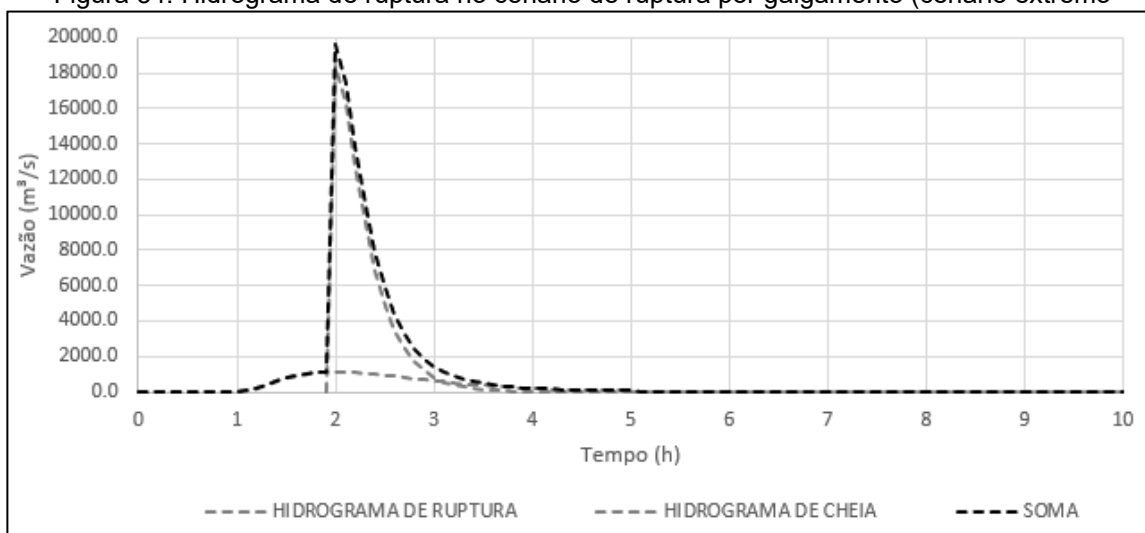
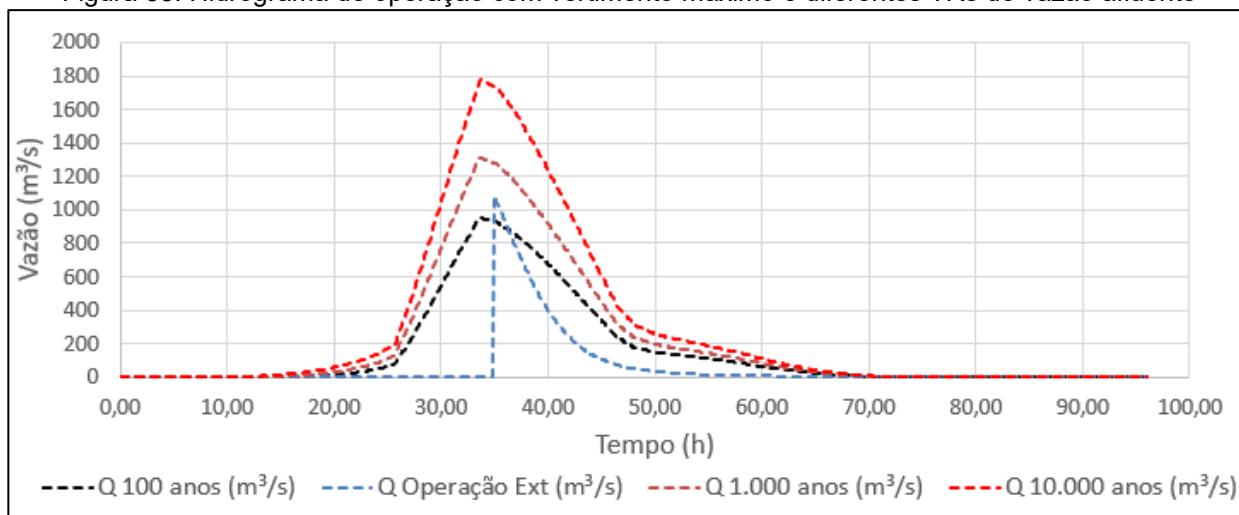


Figura 35. Hidrograma de operação com vertimento máximo e diferentes TRs de vazão afluente



- **Modelo digital do terreno e topografia do vale a jusante**

Elaboração do modelo digital do terreno hidrológicamente coerente, representado na Figura 36, do vale a jusante, obtido a partir do refinamento e processamento de Modelos Digitais de Elevação de consulta pública, tais como ajuste das curvas nível a partir de imagens de satélite e “escavação” da calha do corpo hídrico a partir de dados batimétrico de estação fluviométrica à jusante.

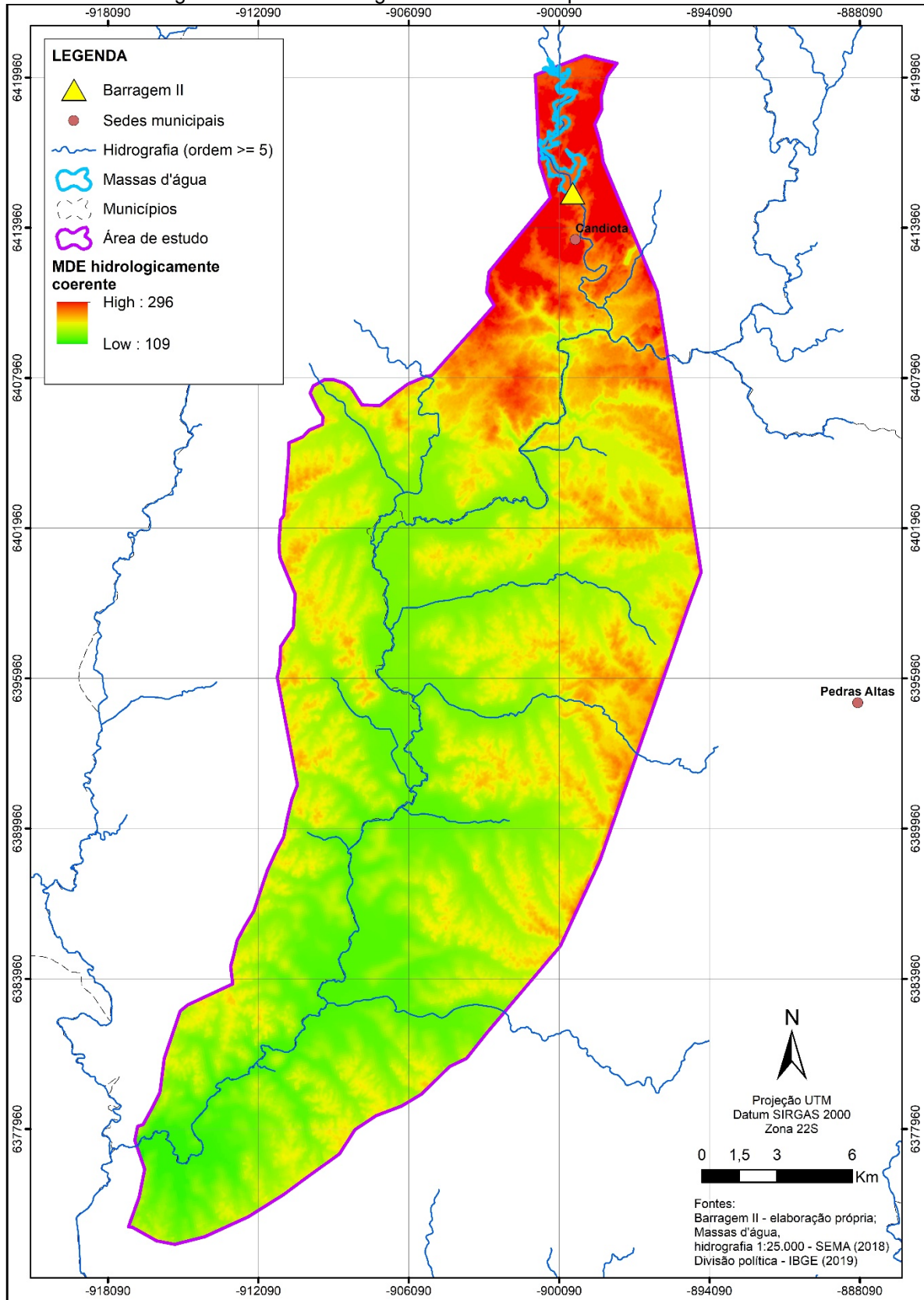
- **Coeficientes de Manning**

O Coeficiente de Manning é utilizado para estimar a resistência ao fluxo devido à rugosidade do canal e da planície de inundação. Usualmente, por questões de simplificação e desconhecimento das características detalhadas de uso do solo na planície de inundação, costuma-se considerar um valor do coeficiente para a calha do rio e outro para as margens, sendo um valor menor para a calha do que para a planície. Com base nas informações apresentadas por USACE (2016), para o leito do rio foi considerado um coeficiente igual a 0,030 e para as planícies de inundação foi considerado um coeficiente de 0,1.

- **Condições de contorno gerais e aspectos numéricos**

Escolha das condições de contorno e parâmetros numéricos de entrada do software de modelagem hidrodinâmica, tais como declividade do vale a jusante, vazão média inicial do corpo hídrico, discretização espacial das seções transversais e discretização temporal da simulação.

Figura 36. MDE Hidrologicamente Coerente para a Área de Estudo



11.3. MAPAS DE INUNDAÇÃO

Os mapas confeccionados foram divididos em duas regiões, para melhor visualização:

- **Região 1:** que corresponde à área imediatamente a jusante da barragem, onde estão localizadas áreas com maior ocupação, como parte do município de Candiota, a Barragem I e algumas outras estruturas relevantes. Foi representada com maior detalhamento, numa escala de 1:30.000;
- **Região 2:** que corresponde ao restante da região simulada, que é predominantemente rural, com poucas habitações e empreendimentos de interesse, sendo representada com menor detalhamento, numa escala de 1:140.000.

Dentre todos os cenários analisados, entende-se que o cenário extremo foi aquele que resultou em maiores profundidades no vale de jusante, justamente por somar um volume de uma cheia decamilenar ao volume do reservatório. Por outro lado, como a passagem da cheia decamilenar é gradual, o vale de jusante acaba sendo afetado de forma mais lenta do que o cenário de ruptura em cenário provável, para o qual não foi considerado um evento de cheia relevante afluente ao reservatório. Neste sentido, considerando-se o tempo de chegada de onda, observa-se que o cenário de ruptura mais provável resulta em tempos mais conservadores (ou seja, a partir do instante do início do rompimento, a onda de cheia chega num menor tempo em trechos de jusante).

Em se tratando do tempo estimado de impacto da onda de cheia ao longo do vale de jusante a partir do início do processo de ruptura, este trabalho definiu a Zona de Autossalvamento (ZAS) considerando aquela área impactada nos primeiros 30 minutos após início do rompimento, que é relativa aos primeiros 4,8 km a jusante da barragem.

Quanto aos limites das manchas de inundação obtidas, percebe-se que para os três cenários simulados a cota máxima de água supera as cotas associadas à barragem de nível a jusante da Barragem II, nomeada de Barragem I, bem como da estação de tratamento de água (APV 2 e 3). Destaca-se que nos cenários de operação e ruptura extremos ocorre a inundação de parte da mancha urbana caracterizada pela sigla APV 4. Mais a jusante, a APV 7 (ponte) também é atingida nos três cenários simulados. Ainda, identifica-se que a princípio, na porção mais a jusante, não há regiões vulneráveis que seriam atingidas, excluindo-se alguns reservatórios no cenário de ruptura extrema. Destaca-se aqui que estes pequenos reservatórios seriam atingidos de jusante para montante, não havendo aumento no volume de água acumulado. Entretanto, os reservatórios foram apresentados no estudo porque para algumas estruturas menores a elevação do nível de jusante pode apresentar riscos à estrutura.

Ainda, é importante ressaltar que as primeiras regiões atingidas (APV 2, 3 e 4 – barragem de nível, parte da mancha urbana de Candiota e a estação de tratamento de água) estão localizados a aproximadamente 10 min da Barragem II estando, portanto, dentro da zona de autossalvamento, onde há elevado risco em caso de rompimento pelo pouco tempo de reação.

Por fim, ressalta-se que as simulações aqui realizadas mostraram que uma possível ruptura da Barragem II da Usina de Candiota tem potencial para chegar de forma consistente até a confluência do Arroio Candiota com o Rio Jaguarão, caso não haja interferência com outros barramentos. A partir desse ponto, por outro lado, entende-se que a mancha de inundação calculada se assemelha a manchas inundações associadas a processos naturais com baixo tempo de recorrência, como uma cheia local de 100 anos de TR.

Na Figura 37 e Figura 38 são apresentados os mapas de inundação para os cenários de ruptura na região 01 e região 02, respectivamente. O conjunto dos mapas elaborados é presente em maior resolução em anexo ao relatório REL-203-2020-HID-08-00. Na Figura 39 se apresenta o tempo de chegada da onda de cheia na região a jusante da barragem.

Figura 37. Manchas de inundação para os cenários de ruptura da barragem – região 1

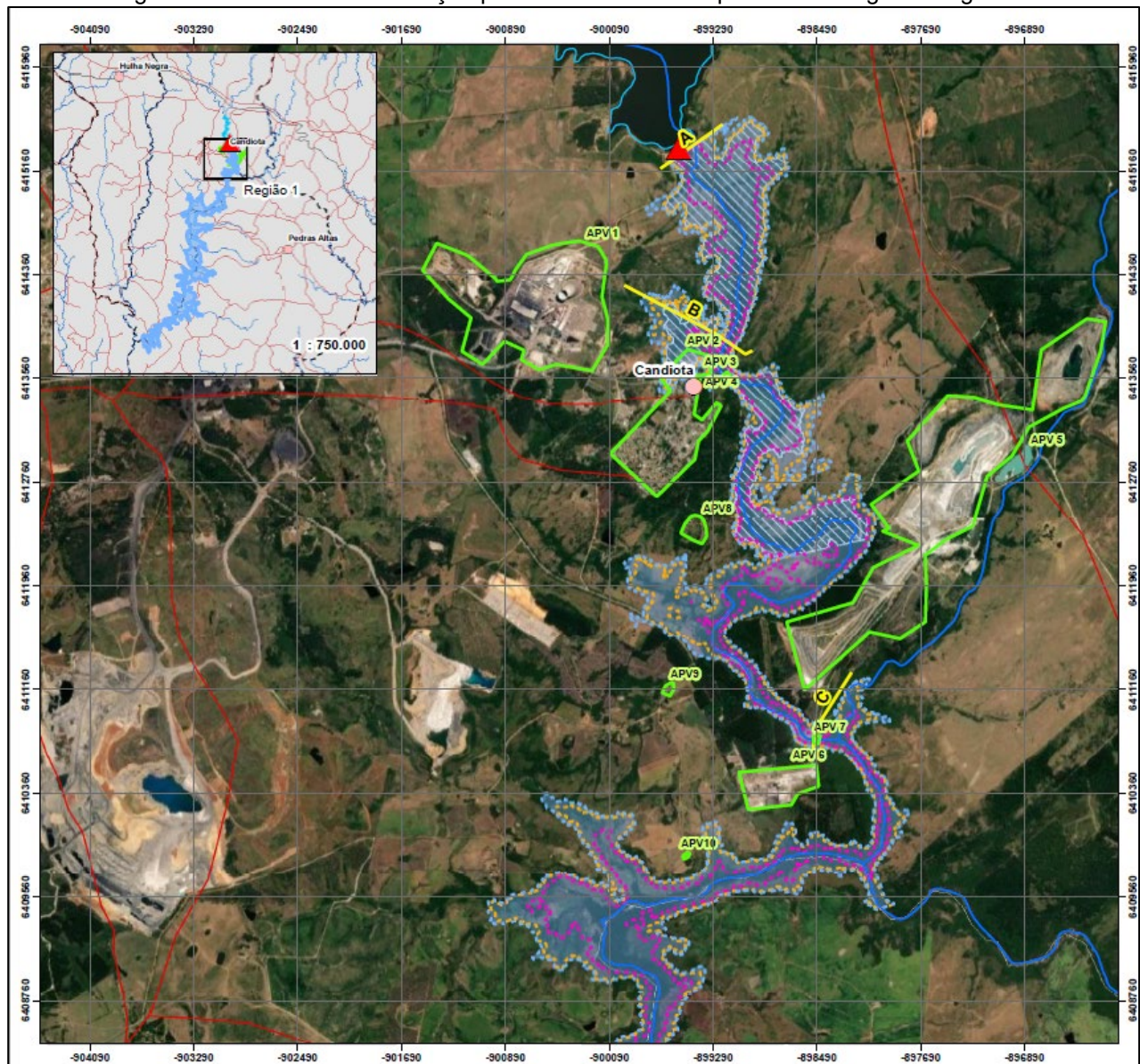


Figura 38. Manchas de inundação para os cenários de ruptura da barragem – região 2

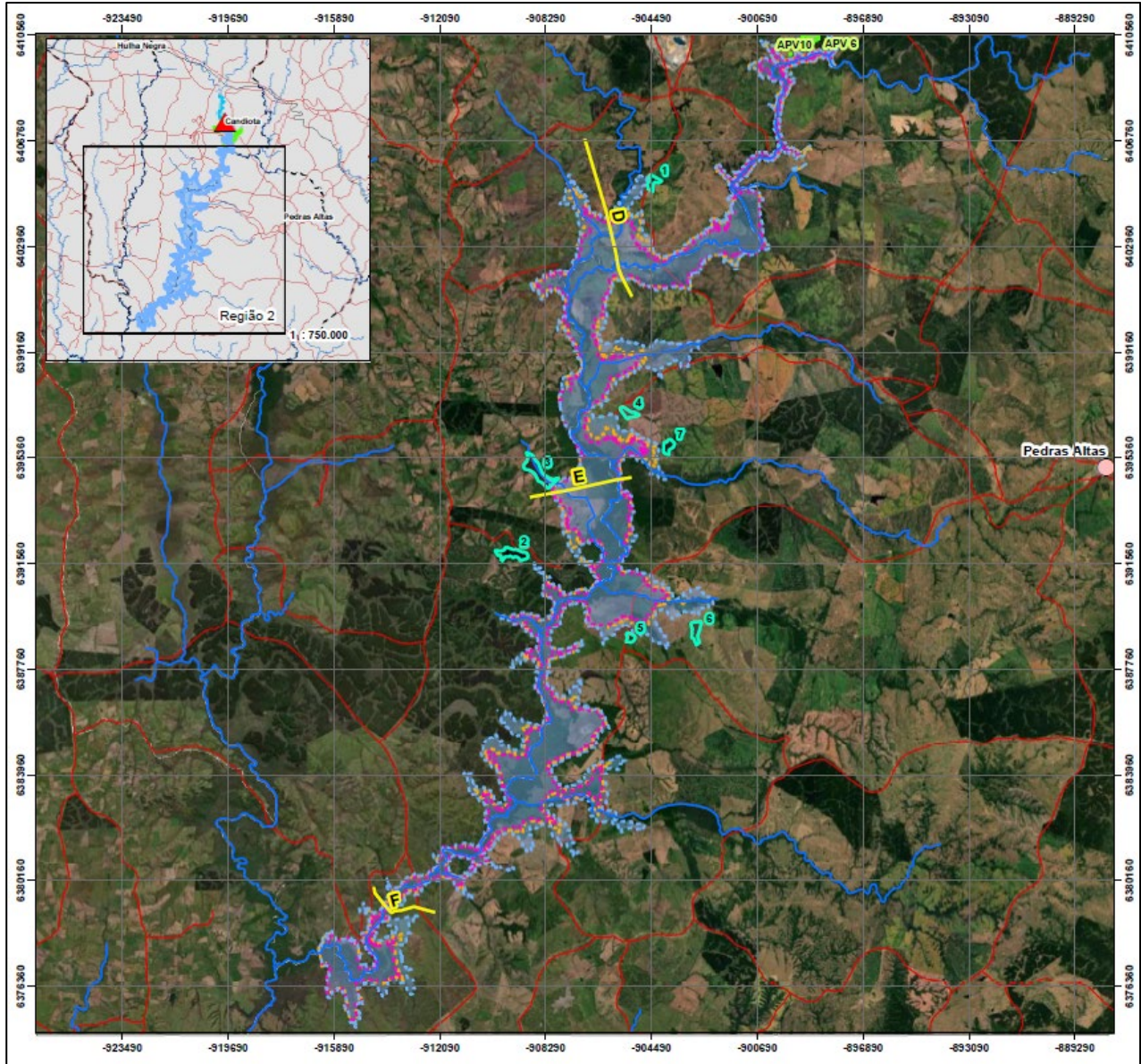
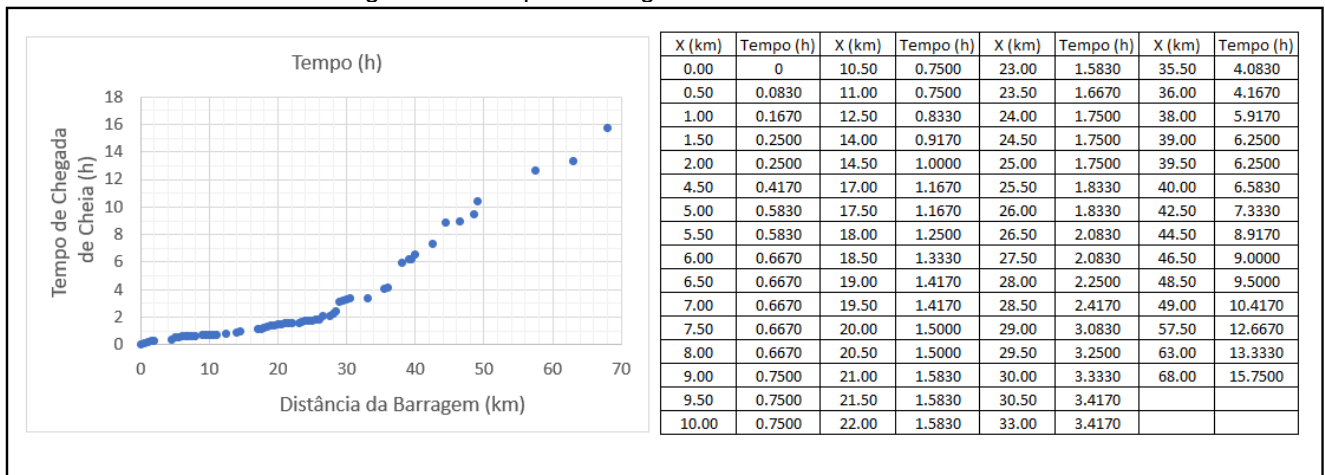


Figura 39. Tempo de chegada de onda de cheia



11.4. RECOMENDAÇÕES ACERCA DO ESTUDO DE RUPTURA

As principais recomendações oriundas do estudo de ruptura da Barragem II do Arroio Candiota são:

- Este estudo de ruptura utilizou dados topográficos secundários e as devidas simplificações necessárias devido à escassez de informações topográficas do vale de jusante, destacando-se não só a topografia do leito maior e menor dos cursos hídricos como também a batimetria dos mesmos. Dessa forma, recomenda-se que a próxima revisão periódica de segurança seja realizada com base em dados topográficos precisos, associados à topografia dos leitos maiores e menores dos cursos hídricos de jusante;
- Sugere-se fortemente que um levantamento batimétrico atual seja realizado no reservatório da Barragem II, para que estudos de ruptura de barragem futuros sejam atualizados para a condição atual do reservatório. Esse levantamento batimétrico também pode ser utilizado para realizar o mapeamento do reservatório com as cotas de operação do reservatório;
- A segurança da barragem permite melhor gestão em condições de risco se houver uma previsão de vazão em tempo real. Para implementar esta previsão pode-se utilizar técnicas de modelagem hidrológica em conjunto com informações telemétricas de precipitação e nível/vazão além de informações já disponíveis na internet. Esta previsão permite gerenciar o volume do reservatório e alerta a população a jusante durante eventos a jusante;
- Um possível rompimento da Barragem II de Candiota afetaria o fornecimento de água para os processos envolvendo a Usina Termoelétrica. Isso significa que a elaboração de um plano emergencial com foco no processo de funcionamento e/ou desligamento emergencial da usina no caso de interrupção abrupta do fornecimento de água deve ser elaborado e implementado, caso o rompimento venha a ocorrer;
- Cadastro da população que pode ser afetada para apoio de informações a defesa civil local

12. REVISÃO DOS ESTUDOS GEOLÓGICOS E SISMOLÓGICOS

Documento de referência: REL-209-2020-GEO-09-00 – Relatório de Revisão de Estudos Geológicos e Sismológicos

12.1. ATUALIZAÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA

No decorrer dos serviços de Inspeção Especial de Segurança da Barragem II, foi realizado um levantamento topométrico cadastral na área da barragem, objetivando a obtenção de informações topográficas para atualização das características geométricas barragem e subsidiar a confecção dos modelos geológico-geotécnicos de análise de estabilidade.

A barragem já conta com marcos de referência e marcos superficiais os quais foram implantados pela empresa Apoio Serviços Técnicos Ltda. em 2002 no sistema de coordenadas geográficas SAD-69. Os relatórios e monografias disponíveis não mencionam a referência altimétrica utilizada para o nivelamento altimétrico dos marcos. Cabe a hipótese de ter sido realizado o nivelamento a partir da régua do reservatório ou o nivelamento e contranivelamento a partir de algum RN próximo.

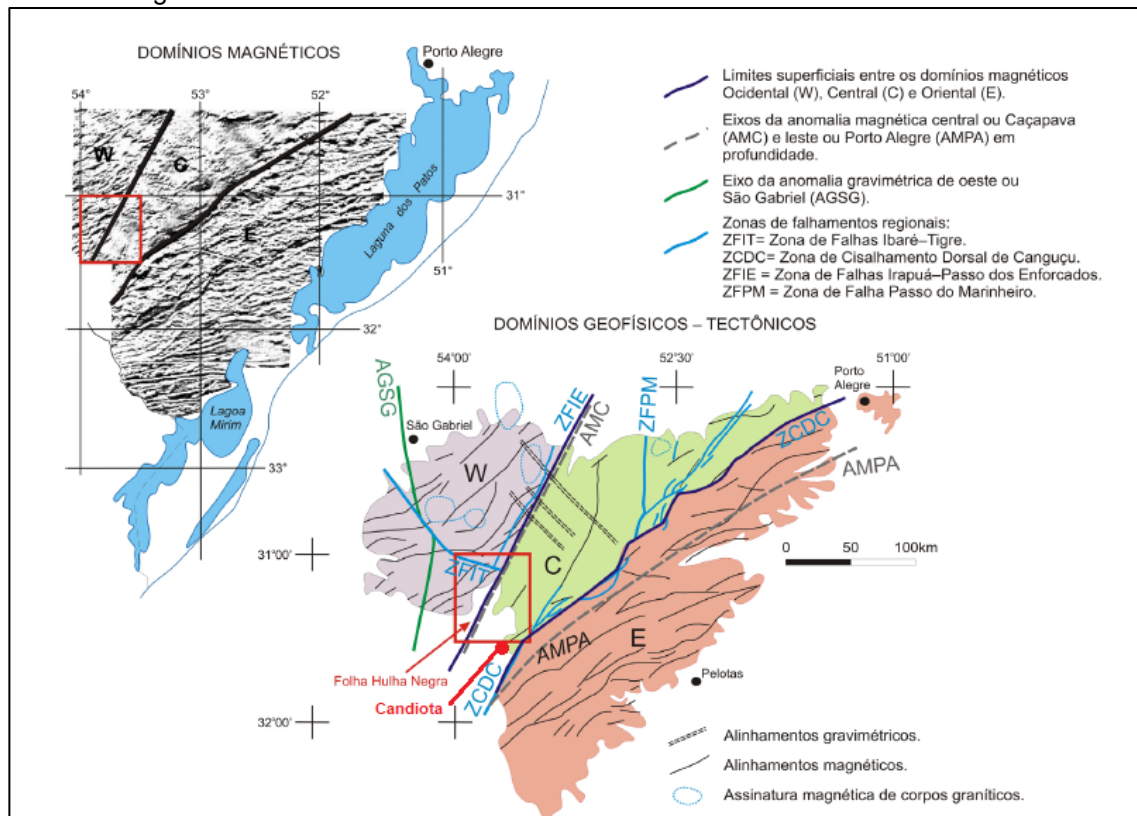
O levantamento planialtimétrico cadastral da barragem foi realizado com o auxílio de dois pares de antenas GNSS de dupla frequência (L1/L2), no sistema geodésico vigente SIRGAS2000. A antena de base foi posicionada sobre o Marco Referencial AZ 7, em que foi realizado o rastreamento e posterior processamento através do Serviço online para pós-processamento de dados GNSS do IBGE (PPP-IBGE). As diferenças supracitadas foram da ordem de 33 cm no plano horizontal no Marco Referencial AZ 7 e de 28 cm no Marco Superficial MB1. De forma a compatibilizar os levantamentos atuais ao referencial altimétrico da barragem e ao sistema geodésico vigente, manteve-se as coordenadas planas coletadas no sistema SIRGAS2000 (sem ajuste planimétrico), e realizou-se o ajuste altimétrico de -0,333 m do levantamento atual

O levantamento planialtimétrico indica uma largura de crista equivalente à 9 metros aproximadamente, enquanto o projeto previa apenas 7 metros. Ainda, quanto à inclinação do paramento de jusante, verificou-se a declividade prevista em projeto igual a 1 V : 2 H. Quanto ao paramento de montante, a declividade é levemente menos abatida que o previsto, equivalente à 1 V : 2,3 H. A cota de crista também coincide na maior parte do platô à 210 m, assim como a cota do pé da seção em análise. No levantamento topográfico realizado foi possível averiguar a existência do dreno de pé, pelo menos em parte, da seção média em direção à ombreira esquerda. No entanto, dadas as condições de vegetação e umidade no pé da barragem, não foi possível adentrar o trecho logo a jusante para que se pudesse verificar a existência da enseadeira de jusante e do trecho com enchimento de brita. As plantas topográficas elaborados no contexto dos serviços são apresentadas em anexo ao presente documento.

12.2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL

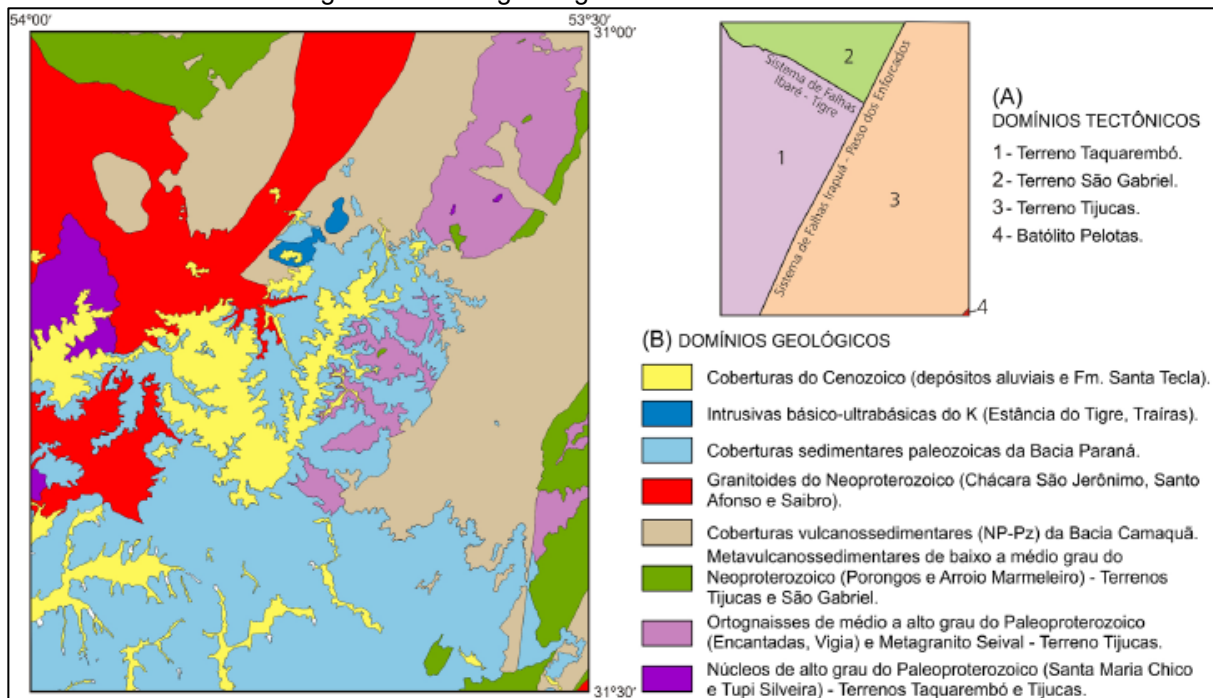
A Geologia regional da área de Candiota é determinada pela ocorrência de três grandes zonas de falhamentos (Zona de cisalhamento Dorsal do Canguçu, Zona de Falha Iberé Tigre e Zona de Falha Irapuá Passo dos Enforcados) regionais conforme o mapa em destaque, Figura 40, que acabam por dividir o escudo sul riograndense em três porções: ocidental, central e oriental.

Figura 40. Domínios Geofísicos e tectônicos do Escudo Sul Rio-Grandense



Na região de Candiota / Hulha Negra / Pinheiro Machado são identificados as entidades geológicas identificadas na Figura 41.

Figura 41. Geologia Regional e Domínios Tectônicos



A área de estudo está inserida dentro da área do complexo Metamórfico Porongos, em uma ampla intercalação de metassedimentos, metabasitos e ortognaisses que constituem faixas estreitas (até 2 km) e

alongadas (até 10 km) de direção N30°-45°E. O Complexo Metamórfico Porongos é representado de forma mais local na área de entorno da barragem de Candiota através de metassedimentos pelíticos (filitos e xistos) e rochas vulcânicas metamorizadas (metabasitos porção oriental – afloramento amostrado em campo) e alguns gnaisses (porção ocidental afloramento observado em campo). Os filitos constituem os litótipos dominantes na faixa oriental de exposição do complexo, enquanto os xistos e paragneisses predominam na faixa ocidental, as metavulcânicas estão em menor quantidade na área.

A barragem encontra-se encaixada no flanco oeste a uma zona de metabasitos, onde ocorre intenso fraturamento rúptil, com inclusive fragmentação de rocha. O afloramento apresenta uma área de solo bastante desenvolvida acompanhando o fraturamento, é possível observar estruturas como brechas e autobrechas ao longo do afloramento. As rochas estão num grau de alteração entre avançado e brando.

12.3. AVALIAÇÃO SISMOLÓGICA

Para servir de referência ao estudo, o Quadro 59 sintetiza os coeficientes sísmicos e fatores de segurança sugeridos por diferentes autores para subsidiar a análise e projeto de barragens. Foram consultados o i) Guia de Elaboração de Projetos de Barragens (ANA, 2015) o qual sugere os valores para sismos e Fator de Segurança na elaboração de projetos de barragens no Brasil; ii) O Manual de Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas da Eletrobrás (2003), sugere valores para os coeficientes sísmicos e Fator de Segurança; e o iii) *Design of Small Dams, do Bureau of Reclamation* (1973) nos Estados Unidos sugere que ambas as cargas de sismos (vertical e horizontal) devem ser aplicadas à barragem nos sentidos mais desfavoráveis à estrutura.

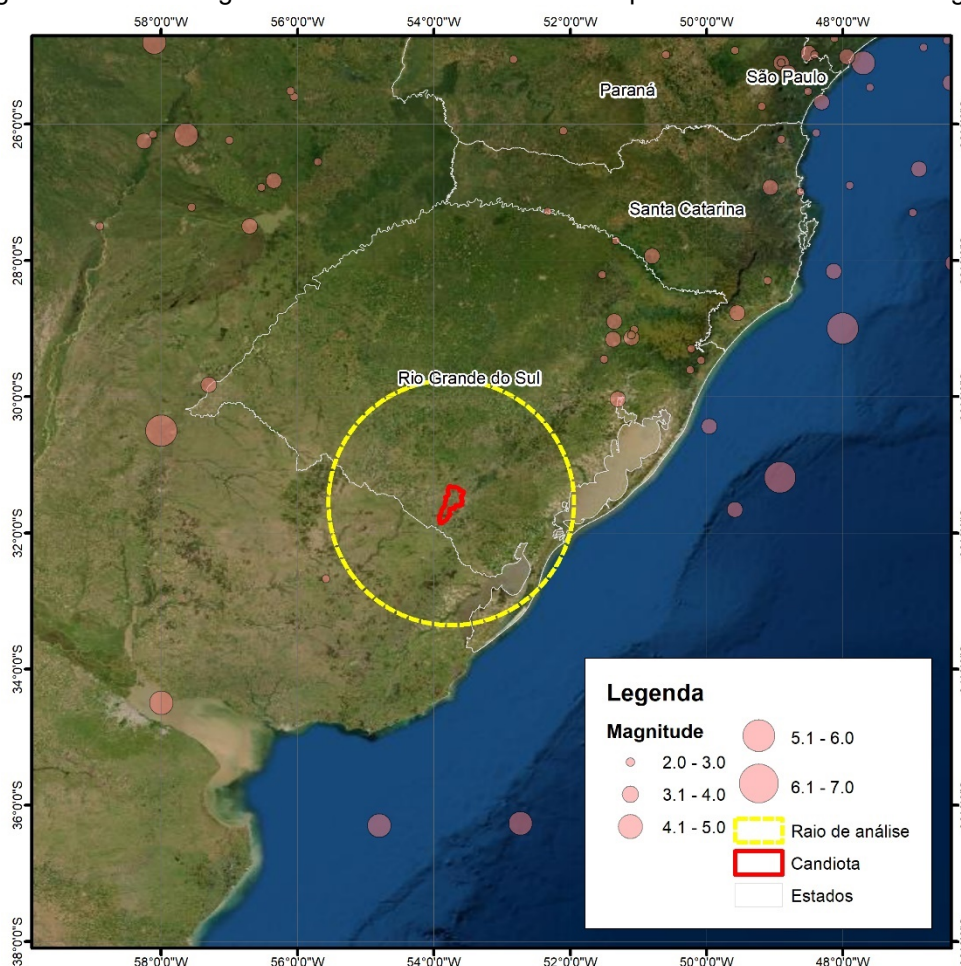
Quadro 59. Coeficiente Sísmicos e Fator de Segurança sugeridos por diferentes autores

Coeficiente Sísmico	Valores Sugeridos		
	ANA, 2015	Eletrobrás, 2003	<i>Bureau of Reclamation, 1973</i>
Kv.g (componente vertical)	0,03.g	0,03.g	0,05.g
Kh.g (componente horizontal)	0,05.g	0,05.g	0,10.g
Fator de Segurança na ocorrência de sismos	1,1	1,0	-

Diante de tais coeficientes, buscou-se realizar uma análise estatística aprofundada do histórico de ocorrência de sismos na região da barragem, que permitisse uma análise comparativa entre os parâmetros empíricos de projeto e os encontrados a partir da análise estatística-probabilística. No entanto, quando analisada a base de dados históricos de todos os sismos já registrados no Brasil e partes da América do Sul, segundo a série histórica da Rede Sismográfica Brasileira², na região da barragem e num perímetro de até 200 km do centroide da barragem foram não foram registrados sismos entre 1974 e 2013, de forma que não foi possível fundamentar a análise de cunho exploratório. A Figura 42 ilustra a magnitude e espacialização desses registros no Brasil e na região da barragem.

² Catálogo/ Boletim Sísmico Brasileiro v2014.06. Disponível em:<http://rsbr.gov.br/catalogo_sb.html>. Acesso em: 19/MAI/2021.

Figura 42. Sismos registrados em um raio de 200 km a partir do centroide da barragem.



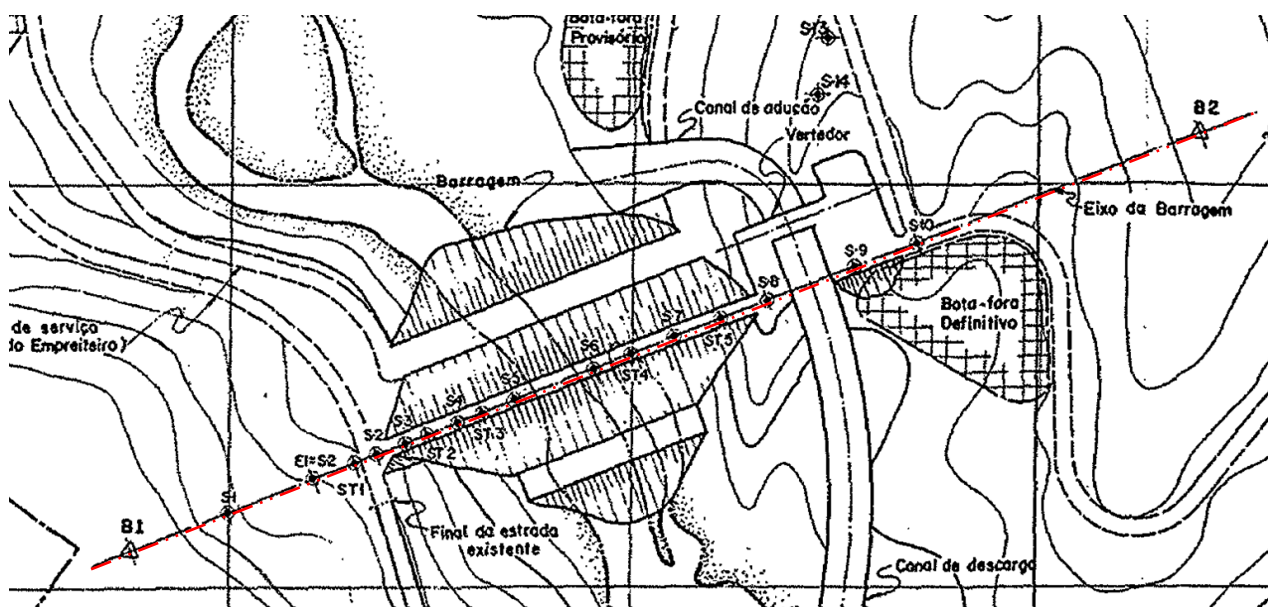
Por este motivo, optou-se para parametrização dos modelos e cenários de análises de estabilidade da barragem em terra, de forma conservadora, por utilizar os valores recomendados pela ANA e Eletrobras, iguais a 0,05.g na componente de aceleração horizontal e 0,03.g na componente de aceleração vertical. As análises de estabilidade considerando ação sísmica pode ser consultada no relatório REL-209-2020-GE0-12-00 - Relatório de Avaliação da Barragem/Dique de Terra e de Enrocamento.

12.4. REAVALIAÇÃO DOS DADOS E MODELOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DO MACIÇO E INTERFACES

Na etapa de projeto (1971), foram realizadas 17 sondagens na área da barragem e do vertedouro, além de sondagens na região da pedreira. Na época, as sondagens visaram identificar o nível freático observando-o na seção principal e não nas encostas. Apesar da difícil análise das imagens digitalizadas disponíveis depois de aproximadamente 50 anos, o Memorial Descritivo do projeto (CEEE, 1971) descreve que as sondagens alcançaram uma profundidade de até 10 m e demonstraram heterogeneidade no tipo de material variando entre argila, alteração de rocha, microgranito, areia; e gnaíse mais localizado na região do vertedouro. O talude da margem direita é constituído, nas camadas mais superficiais, por metaquartzito de cor cinza róseo de granulação fina, uniforme no qual aparece nítida a estratificação da rocha de origem. Apresenta-se muito fraturado tendo sido, às vezes, identificado como bloco de pedra ou matacão. Abaixo encontra-se camada de espessura variável de argila siltosa com areia e mica de consistência variável, considerada como solo residual. A camada de base foi identificada como sendo metarcóseo.

Na seção principal do arroio, ainda na margem direita, encontra-se a camada superior de matacões sobre a argila retornando a matacão para recobrir camada de areia, de textura variável, pouco siltosa, com cascalho, antes do embasamento rochoso. Na encosta da margem esquerda encontra-se alteração de rocha recoberta por blocos de pedra e matacões envolvidos por argila. O espigão na margem esquerda, no qual apoia-se a ombreira esquerda da barragem e no qual se localiza o vertedor, é formado por gnaiss (sondagens 13 e 14). A localização das sondagens pode ser visualizada na Figura 43.

Figura 43. Localização das sondagens realizadas no eixo da barragem (CEEE, 1971).



Na época, também foram realizados ensaios de perda d'água os quais indicaram uma perda total nas sondagens S2 e S4 nas profundidades 21,66 e 22,08 e perdas de até 18,5 l/min/m para pressões inferiores a 1 km/cm² nas perfurações ST 1 e ST4 nas camadas superficiais e menores valores nas camadas mais profundas. Foram realizadas perfurações nas jazidas de argila que serviram para compor o maciço do núcleo da barragem. Estas sondagens foram realizadas a aproximadamente 500 m ao noroeste da barragem. Os solos encontrados foram classificados na época como argila inorgânica de média plasticidade.

Durante o projeto da barragem também foram realizados ensaios granulométricos nos materiais coletados durante as sondagens, ensaios de plasticidade e liquidez, ensaios de compactação e ensaios triaxiais nas áreas de jazidas. Dada a inexistências de dados atuais dos parâmetros geotécnicos do material constituinte do aterro, foi realizada uma retro-análise dos ensaios triaxiais nos materiais das jazidas, plotando os pontos obtidos dos gráficos disponibilizados e se traçando a reta representativa das envoltórias de tensões. Os resultados são apresentados no Quadro 60.

Quadro 60. Parâmetros geotécnicos obtidos a partir da retro-análise dos ensaios de compactação e triaxial

Amostra	Coesão (kPa)		Ângulo de Atrito (°)	
	Projeto	Reanálise	Projeto	Reanálise
Amostra M	98	91*	25	24,06*
Amostra K	167	130*	19,5	17,73*
Amostra E	78	-	22	-
Amostra C	83	-	21	-

Nota-se pequenas diferenças entre os resultados reavaliados das amostras M e K, quando comparados aos parâmetros de projeto. No entanto, o que chama a atenção é o parâmetro de coesão encontrado nas quatro amostras, superior ao que se espera para este tipo de material. Tal fato pode ser explicado caso os ensaios tenham sido realizados em amostras indeformadas, em que as estruturas reliquias permanecem inalteradas elevando o intercepto coesivo da envoltória de resistência da amostra.

Quando avaliado criticamente o coeficiente do ângulo de atrito, e comparado à bibliografia, espera-se valores da ordem de até 32°. Como os resultados obtidos durante as etapas de projeto são inferiores a este valor, sugere-se a manutenção dos valores de projeto, entre 19,5° e 25°. No entanto, recomenda-se, por hora, a aplicação do parâmetro de coesão entre 20 e 35 kPa, considerado uma amplitude conservadora, até que sejam conduzidos novos ensaios em amostras coletadas do maciço da barragem

De acordo com a ANA, em seu Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume V, as análises de estabilidade devem ser realizadas em termos de tensões efetivas, exceto nos casos em que a análise envolva materiais cujo comportamento se assemelha ao das argilas plásticas saturadas, devendo nesses casos fazer a análise em tensões totais, como é o caso do cenário de rebaixamento rápido, relatado anteriormente. Tal rebaixamento origina, em especial nos solos de baixa permeabilidade, uma complexa combinação de carregamento: redução das tensões principais com aumento da diferença entre elas, isto é, aumento da tensão desviatória, rotação da direção das tensões principais e o estabelecimento de condições transientes de fluxo gravitacional de água.

Por este motivo, foram definidos dois modelos geológico-geotécnicos e geomecânicos, um para a situação drenada, em que agem tensões efetivas, utilizados nas modelagens de:

- Estabilidade global – situação de percolação estável;
- Estabilidade com filtro colmatado
- Estabilidade sujeita a tráfego
- Estabilidade sujeita a sismicidade

E outro modelo para a situação não-drenada, utilizado na modelagem de rebaixamento rápido. Neste caso, os parâmetros de poropressão e de resistência ao cisalhamento são minorados. Como analisado anteriormente, os parâmetros dos diversos materiais foram caracterizados a partir de resultados de ensaios de laboratório quando possível. Nas situações em que não foi possível, devido à ausência de sondagens e ensaios geotécnicos, foram realizadas pesquisas bibliográficas nos documentos de maior referência na área de geotecnia.

O Quadro 61 resume os parâmetros geotécnicos obtidos dos ensaios realizados na etapa de projeto e da bibliografia os quais foram adotados nos modelos geológico-geotécnicos e geomecânicos do maciço e interfaces durante as análises de estabilidade em situações drenadas e não drenadas. Optou-se pela modelagem de todos os cenários de avaliação do equilíbrio limite com resultados **efetivos** uma vez que a barragem, de aproximadamente 50 anos de idade, já opera em uma situação de estabilidade das poropressões. Executa-se o cenário de rebaixamento do lençol freático, em que é analisada a estabilidade do talude de montante em uma situação **não-drenada** e, portanto, considerou-se parâmetros geomecânicos de um solo saturado, ou seja, resultados **totais**, sem dissipação das poropressões e o peso específico saturado.

Quadro 61. Parâmetros geotécnicos do maciço e interfaces.

Materiais	Parâmetros Resistivos			Parâmetros Hidráulicos				
	$\gamma_{nat} / \gamma_{sat}$ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	Modelo	Ky (m/s)	Ky' / Kx'	θ_{sat}	θ_r
Aterro Argiloso (argila compactada drenada)	19,0	37,0	24,0	Sat / N. Sat.	3,2x10-8	0,6	0,40	0,080
Aterro Argiloso (argila compactada não drenada)	19,5 (sat.)	37,0	17,7	Sat / N. Sat.	3,2x10-8	0,6	-	-
Dreno de pé – pedregulho	19,5	0,0	41,4	Sat.	10-2	1,0	-	-
Enchimento - brita	19,5	0,0	41,4	Sat.	10-3	1,0	-	-
Enrocamento – pedra de mão	23,0	0,0	40,0°	Sat.	10-1	1,0	-	-
Ensecadeira – areia argilosa	17,0	20,0	20,0°	Sat / N. Sat.	10-7	1,0	0,45	0,045
Filtro Interno – areia argilosa	18,5	10,0	37,4	Sat / N. Sat.	10-5	1,0	0,45	0,045
Fundação – metaquartzito/metarcóseo	25,0	Alta Resistência		Sat.	Sat.	1,0	-	-
Terreno Natural – areia siltosa	17,0	38,0	26,0	Sat/N. Sat.	10-7	1,0	0,45	0,045

Em que,

γ_{nat} – peso específico natural

γ_{sat} – peso específico saturado

c – intercepto de coesão

ϕ - ângulo de atrito

K – coeficiente de permeabilidade

Ky'/Kx' – anisotropia

θ_{sat} – teor de umidade volumétrico saturado

θ_r – teor de umidade volumétrico residual

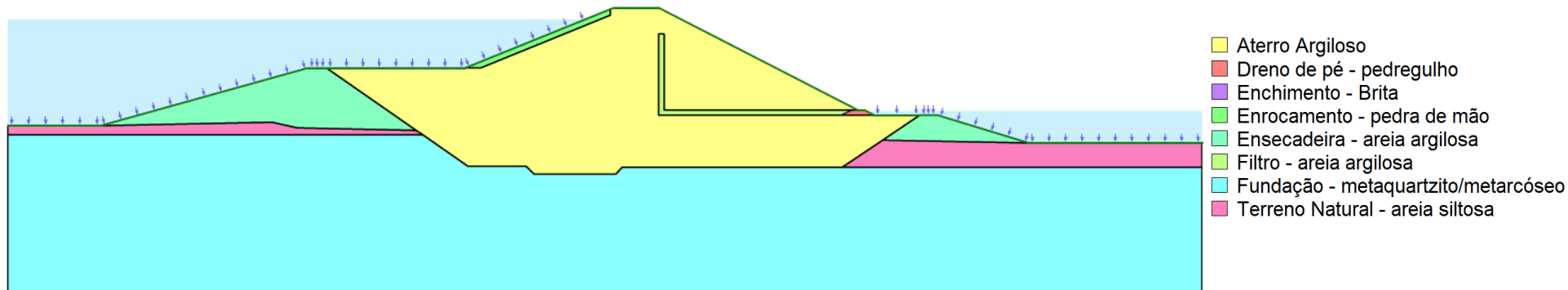
Referências para a caracterização:

1. Memorial descritivo do projeto da barragem, CEEE (1971).
2. 100 Barragens Brasileiras, Cruz (1996).
3. Curso Básico de Mecânica dos Solos, Pinto (2006).
4. Fundamentos de Engenharia Geotécnica, Das (2007).

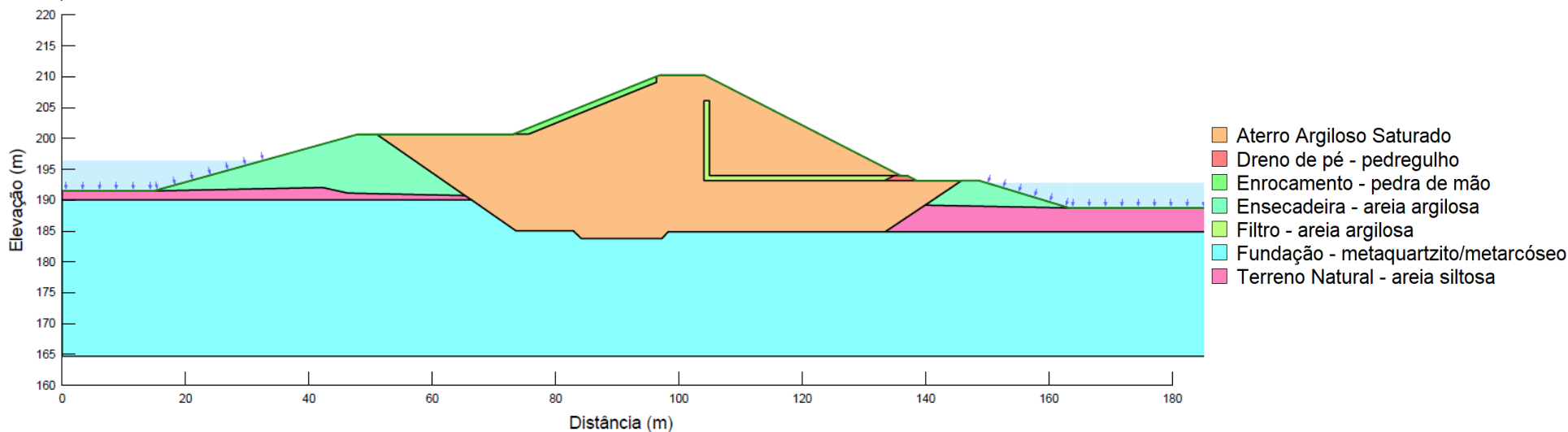
A Figura 44 ilustra os modelos geológico-geotécnicos empregados nas análises de estabilidade. Conforme já comentado, devido à não identificação in situ da ensecadeira de jusante, e, pelo fato de a mesma constituir elemento atuante em favor da estabilidade da barragem, optou-se, de maneira conservadora, por não incluir a presença da ensecadeira na geometria dos modelos parametrizados para realização das simulações.

Figura 44. Modelo Geológico-Geotécnico e Geomecânico utilizado nas análises de estabilidade sem ensecadeira de montante – NA final

a) Modelo drenado crítico



b) Modelo não-drenado crítico



12.5. AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO SUPERFICIAL E DRENAGEM DOS TALUDES

O revestimento de proteção da barragem conta com gramínea no paramento de jusante, sem bermas de equilíbrio e enrocamento no paramento de montante. Não foram notadas anomalias na proteção do paramento de jusante, como árvores ou surgências, se não pequenos formigueiros. A grama encontrava-se rente ao talude durante a inspeção realizada, indicando uma periodicidade adequada dos serviços de capina, o que permitiu uma avaliação com clareza de eventuais anomalias.

Ainda, quando analisado o paramento de jusante, não necessariamente se tratando do revestimento de proteção, mas incidindo sobre sua eficácia, notou-se o fenômeno denominado “rastejo” ou “fluência” pela bibliografia geotécnica (*creep* em inglês). O fenômeno pode ser observado na Figura 45, sob um ângulo favorável à sua visualização. Esse tipo de movimento é caracterizado por serem lentos e contínuos, decrescente com a profundidade, sem superfície de ruptura definida e sem diferenciação entre a massa em movimento e a região estável, devidos à ação da gravidade associada à efeitos de variação de temperatura e umidade. Recomenda-se, portanto, o monitoramento desta anomalia a partir da instalação de instrumentos auxiliares, como marcos superciliais no talude de jusante, que permitam mensurar tais deslocamentos ao longo do tempo.

Figura 45. Rastejo/fluência (*creep*) observado no paramento de jusante.



Como antevisto, esse fenômeno pode criar discontinuidades na superfície de proteção do talude de jusante, constituindo falhas na proteção, fissuras e permitindo a percolação de água da chuva para dentro do aterro. Por este motivo, há oportunidade para melhorias quanto à proteção do talude de jusante, reparando-se falhas mais acentuadas da superfície através de aterro de material argiloso compactado por compactador de solo tipo sapo, e aplicando-se mudas de leiva sobre o material aterrado.

No caso do paramento de montante, composto por rocha basáltica de boa resistência mecânica, não se notou discontinuidades significativas, se não pelo aparente escorregamento de parte das rochas com o passar do tempo para dentro do reservatório. Como já relatado, a inclinação do paramento de montante, aparenta estar mais inclinada do que o previsto no projeto (1 V : 2,3 H), indicando que pode ter havido a

referida movimentação do enrocamento de proteção. Ademais, a parte mais alta do paramento não conta com a proteção de enrocamento, e quando comparado com o talude de jusante, permite a formulação da hipótese de que a barragem foi alteada em algum momento de sua história, dada a descontinuidade geométrica de jusante e a aparente falta de proteção a montante (vide Figura 46).

Figura 46. Sistema de revestimento e proteção do paramento de montante.



12.6. ANÁLISE DE ESTABILIDADE E PERCOLAÇÃO NAS OMBREIRAS E PROXIMIDADES

No que tange a estabilidade e percolações das regiões das ombreiras e proximidades não há dados/informações de monitoramento de deslocamentos, medições de vazão de percolação, ensaios geotécnicos ou instrumentação da auscultação que possibilitam a realização de inferências ou análises aprofundadas sobre o comportamento dos maciços das ombreiras. As ponderações feitas a seguir, portanto, são baseadas nas situações constatadas visualmente durante a ISE realizada nas instalações da barragem.

Visivelmente, não há indícios de instabilidade na área da ombreira direita, tais como desmoronamentos, sinais de movimento (translacional, rotacional ou escorregamento), surgência descontrolada ou acentuada d'água e erosão de solo. Pode-se observar (Figura 47 – a), que a referida zona apresenta proteção vegetada em toda sua extensão. Verifica-se apenas uma pequena área erodida ou de extração de material no lado direito da estrada de acesso, além dos limites da área da barragem e já distante da mesma. A análise visual indica o material ser proveniente de alteração de rocha. Não foi realizada modelagem e análise de estabilidade desse talude, e, apesar da falta de subsídios de maiores informações, as condições visuais não demonstram instabilidade no maciço.

Na interface da ombreira direita com o maciço do talude de jusante existe uma canaleta de drenagem tipo meia cana em concreto (Figura 47 - b), a qual encontra-se com diversas obstruções, danos estruturais e falhas em juntas de concretagem, proporcionando percolação d'água que poderá acentuar as anomalias, através de erosão regressiva, ocasionado a perda da funcionalidade do elemento. Não há presença drenos, poços de alívio ou medidores de vazão que permitam a quantificação da água percolada através do maciço da ombreira. Durante as inspeções de campo não se constatou surgências d'água na região.

Figura 47. Ombreira direita

a) Vista geral



b) Canaletas de drenagem danificadas



A região da ombreira esquerda, por sua vez, encontra-se tomada por vegetação de grande porte e não pôde ser inspecionada adequadamente durante os serviços de campo (Figura 48 -a). Tal como na ombreira direita, as canaletas de drenagem da interface com o talude de jusante se encontram obstruídas por vegetação (Figura 48 - b) e não há presença de drenos ou medidores de vazão para mensuração da vazão percolada através do maciço da ombreira. Durante as inspeções, apesar da limitação da vegetação, não foi constatada presença de umidade nas canaletas ou pontos de surgência d'água na região. As canaletas não apresentam desalinhamento direcionais que possam remeter a movimentações na interface entre o talude de jusante e a ombreira esquerda. Igualmente ao maciço da ombreira direita, não foi realizada análise de estabilidade do maciço da ombreira esquerda, pela falta de subsídios adequada para parametrização de um modelo geotécnico, porém as condições visuais não remetem à ocorrência de movimentos ou comportamento instável.

É de suma importância que seja realizada a manutenção da vegetação no talude da ombreira esquerda, de forma a propiciar uma adequada inspeção do local. Em complemento, faz-se necessária as correções das anomalias nas canaletas de drenagem de ambas as ombreiras. Uma vez que não foram constatadas surgências nas interfaces ou percolação d'água a partir dos maciços das ombreiras, deve-se manter o monitoramento de tal aspecto rotineiramente, analisando a implantação de dispositivos de medição de vazão de percolação quando for verificado a ocorrência desse fenômeno.

Figura 48. Ombreira esquerda

a) Vista geral



b) Canaletas de drenagem obstruídas



Pode-se depreender, a partir do conteúdo consubstanciado no presente documento, que há significativa carência de dados e informações que possibilitassem o pleno atendimento dos requisitos de atualização dos estudos geológicos, previstos nas especificações técnicas da Contratante, e a emissão de um parecer conclusivo acerca da aferição dos parâmetros geotécnicos de solo e rocha dos materiais constituintes da barragem (aterro, filtros, fundação).

Os subsídios existentes permitiram apenas uma retro-análise das características geotécnicas e geológicas da época de projeto, bem como a determinação de modelos a serem utilizados nas análises de estabilidade com base nas premissas explicitada ao longo dos documentos. Fazem-se ausentes registros, documentação técnica e investigações geotécnicas de campo e laboratoriais recentes e efetuadas após a construção da barragem, que possam dar lastro a análises mais assertivas e condizentes com as condições atuais da barragem. Foi permitido, contudo, a partir do levantamento topográfico cadastral, confrontar a conformação atual da geometria do barramento frente ao especificado nos projetos originais, averiguando-se não haver discordâncias significativas. A caracterização geológica regional também pode ser realizada através de revisão bibliográfica da literatura técnica disponível.

Quanto aos estudos sismológicos, verifica-se que a região na qual a Barragem II do Arroio Candiota se encontra não está sujeita, ao menos até o presente momento, conforme dados históricos coletados, a atividade sísmica relevante, de forma que podem ser consideradas as sugestões simplificadas da literatura técnica para determinação dos parâmetros de aceleração sísmica para uso nas análises de estabilidade das estruturas da barragem.

As principais recomendações decorrentes das análises e constatações apresentadas no presente documento são listadas abaixo. Dado o caráter pluralístico e interdependente dos fatores influentes na segurança e operação de barragens, as recomendações aqui listadas não são restritas aos aspectos geológicos-geotécnicos, mas englobam atividades/serviços que guardem correlação com os mesmos:

- Execução de um conjunto de sondagens mistas para investigação das condições internas do maciço e fundação da barragem, realizando-se ensaios no talude de montante, crista, talude de jusante, ombreiras e região do pé da barragem. A definição da locação dos furos deve ser analisada com base na localização da instrumentação de auscultação, anomalias verificadas e não seções críticas de análise de estabilidade do barramento;
- Para uma completa avaliação geológica é necessário averiguar o entorno e realizar o mapeamento geológico na escala 1:10.000 identificando as principais litologias e estruturas dentro da área do reservatório e do barramento, classificar os falhamentos de forma expedita.
- Realização de ensaios in situ de perda d'água em solo e perda d'água sob pressão em rocha nos locais de sondagem mista, objetivando a determinação dos coeficientes de permeabilidade;
- Coleta de amostras indeformadas e realização de ensaios laboratoriais, para atualização dos parâmetros geotécnicos do material constituinte do aterro, filtros, enrocamentos, ensecadeiras e ombreiras: índices físicos, granulometria, umidade natural, peso específico natural, compactação Proctor Normal e ensaios triaxiais não-drenados.
- Retirada de vegetação da ombreira esquerda e realização de inspeção detalhada da área, buscando verificar sinais de movimento, descontinuidades e surgências d'água;
- Limpeza da área do pé da barragem para investigação adequada do local;
- Instalação de instrumentação de controle (marcos de alinhamento) e monitoramento do aparente movimento de rastejo evidenciado no talude de jusante;

13. AVALIAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E DO RESERVATÓRIO

Documento de referência: REL-209-2020-GEO-10-00 – Relatório de Avaliação da Fundação da Barragem e do Reservatório

13.1. AVALIAÇÃO DA FUNDAÇÃO

Consoante ao já exposto, o contexto geológico regional e local condicionou o projeto para a escolha de um tipo de barragem em terra tradicional, com filtro interno de areia, paramento de montante com enrocamento, cut-off, cortina de injeções e dreno de pé. A fundação da barragem, segundo informações de projeto, é constituinte parte em rocha alterada de metaquartzito e metarcóseo, e parte em saprólito. Os boletins das sondagens mistas efetuadas na época de projeto demonstram heterogeneidade quanto ao fraturamento do maciço rochoso na fundação. Não foram disponibilizados ensaios de caracterização de resistência mecânica e deformabilidade dos materiais constituintes da fundação

Segundo Cruz (1996), a maioria dos maciços rochosos de fundação não influencia na estabilidade global das barragens nem em suas deformações, mesmo aqueles compostos por rochas mais brandas (resistência a compressão simples entre 20 e 200 kg/cm²). A exceção diz respeito a maciços que contenham feições de folhelhos ou rochas expansivas, onde problemas por permeabilidade podem condicionar a estabilidade e deformações da barragem, o que não é o caso da Barragem II do Arroio Candiota. Em se tratando de saprólito e solos saprólíticos, de maneira geral também são adequados como fundação, desde que observadas as condições de permeabilidade e execução de tratamentos por vedação e/ou drenagem. Sendo assim, pode-se inferir, que, a priori, as características do solo/rocha não encontravam óbices técnicos restritivos à execução da barragem no local previsto.

13.1.1. Trincheira vedante e cortinas de injeção

Os valores dos ensaios de permeabilidade obtidos dos furos de sondagens realizados no eixo longitudinal na época de projeto da Barragem II, mostraram, a necessidade de realização de trincheira vedante e de cortinas injeção. Deve-se ter em mente as cortinas de injeções de que tratamos são destinadas a diminuição da permeabilidade do material da fundação, e não à consolidação da rocha.

Segundo Cruz (1996) e Schreiber (1977), a respeito de critérios de projeto de trincheiras vedantes e cortinas de injeção, têm-se as seguintes recomendações:

- A posição ideal do cut-off é a central, com seu eixo longitudinal coincidindo com o eixo longitudinal da barragem, ou então ligeiramente a montante
- O cut-off deve ser contínuo, sendo que para execução de cut-offs parciais devem ser previstas as medidas adicionais de vedação ou drenagem
- A largura do cut-off deve ser de 0,25x a diferença da carga entre montante e jusante, com no mínimo 4,0 m e máximo 20,0 m;
- Uma regra empírica para verificação inicial da largura (b) do cut-off é dada por: $b = H-d$, onde H é diferença de carga entre montante e jusante e d é a profundidade do cut-off;
- Critério de Lugeon: se a perda d'água não passa de 2 litros/min por metro linear de furo, sob pressão de 10 kp/cm², para barragens de até 30 m de altura, e 1 litro/min por metro linear de furo para barragens com mais de 30 m de altura, admite-se que a permeabilidade não pode ser diminuída por injeções.
- Para permeabilidade média da fundação entre 5×10^{-4} cm/s e 10^{-3} cm/s, pode-se utilizar linha única de injeção;

- Para permeabilidade superior a 10^{-3} cm/s, as recomendações são de uso de linha tripla atendendo aos critérios geológicos. Um valor indicativo para a profundidade das cortinas é de $0,4\Delta h$, sendo Δh a diferença de carga entre o NA máx. e o nível mínimo de jusante.
- O tratamento de impermeabilização de fundações para redução da permeabilidade deve ser empregado quando os maciços rochosos apresentarem permeabilidade média superior a 10^{-4} cm/s;
- Comumente, para cortinas de injeção, adota-se caldas grossas (traço de 0,7:1,0 a 0,5:1,0) e baixas pressões de injeção (0,15 a 0,25 kg/cm²/m).

O memorial descritivo da fase de anteprojeto da Barragem II cita a previsão de um cut-off, com aproximadamente 12,00 metros de largura, altura de 3,40 m, apoiado sobre a rocha de fundação, com a execução de uma cortina de injeções para permeabilização do material da fundação, a cada 5,00 m com duas fileiras alternadas até 15,0 m de profundidade. A cortina de injeções que foi projetada em todo o eixo da barragem atinge a cota 170 m no trecho mais profundo. A Figura 49 e Figura 50 apresentam a concepção do cut-off e cortinas de injeção na fundação da barragem.

Figura 49. Detalhe do Corte B-B da Barragem de Terra II (CEEE, 1971)

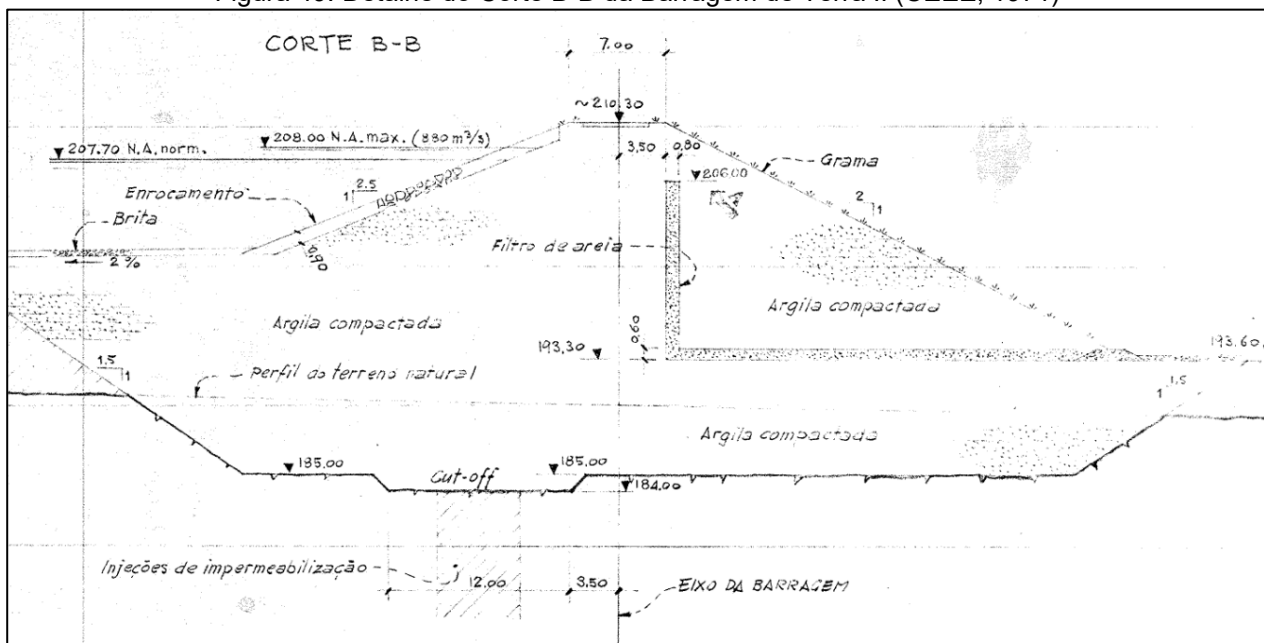
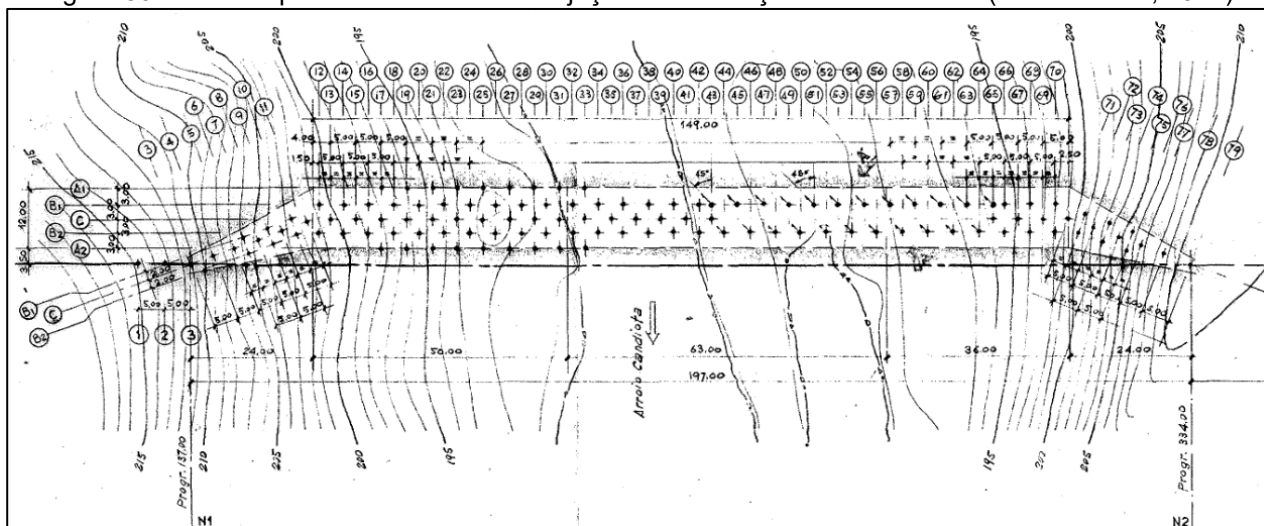


Figura 50. Vista em planta das cortinas de injeções na fundação do barramento (Eletroconsult, 1971)



A geometria do cut-off projetado para a Barragem II do Arroio Candiota, considerando o desnível máximo de carga entre montante (NA=208,89 segundo os estudos hidrológicos revisados) e jusante (cota de 193,80 m da ensecadeira de jusante) de 15,09 m, implicariam, implicariam, de acordo com a regra empírica apresentada, um cut-off da ordem de 14,00 m de largura, estando, portanto, na mesma ordem de grandeza a condição de projeto. Ressalta que o valor obtido é apenas um valor orientativo inicial sugerido pela literatura técnica. Não há detalhamento de memória de cálculo que determinou as dimensões do cut-off projetado. O valor indicativo sugerido por Cruz (1996) para a profundidade das cortinas de injeção de $0,4\Delta h$ também é atendido.

As cortinas de injeção foram projetadas em linhas alternadas de 2 e 3 furos, com espaçamento de 5,00 m no sentido longitudinal e 3,00 m no sentido transversal, no trecho do barramento, e com espaçamento de 4,50 m no sentido longitudinal e 3,50 m no sentido transversal, no trecho do vertedouro. Não há maiores detalhes que levem ao esclarecimento dos critérios geológicos ou memoriais que elucidam a decisão por essa concepção de projeto, podendo-se dizer, de forma geral, que a solução prevista proporciona uma barreira impermeabilizante com eficácia teórica entre o previsto para o caso de linha única e de linha tripla de injeções mencionados por Cruz (1996). Os memoriais técnicos fornecidos pelo empreendedor não especificam quais foram os traços e pressões de injeção utilizadas. A posição do cut-off e cortinas de injeção, ligeiramente à montante, em relação ao eixo do barramento, está em conformidade com as orientações dos autores citados.

Em complemento à cortina de injeção, com a finalidade de eliminar pressões dentro da rocha e entre a rocha o fundo de estruturas de concreto, como é o caso do vertedouro da Barragem II, Schreiber (1977) sugere a instalação de furos de drenagem, espaçado de acordo com o grau de fendilhamento da rocha. Os furos de injeção devem ser ligeiramente inclinados para montante e os de drenagem para jusante. Essa solução foi prevista para a base das estruturas do vertedouro, inclusive com as inclinações recomendadas dos elementos, com os drenos a cada 5,00 m, extravasantes na superfície de concreto do canal do vertedouro. As figuras a seguir ilustram o projeto das cortinas de injeção sob a estrutura do vertedouro.

Figura 51. Detalhe das cortinas de injeção no vertedouro (CEEE, 1971)

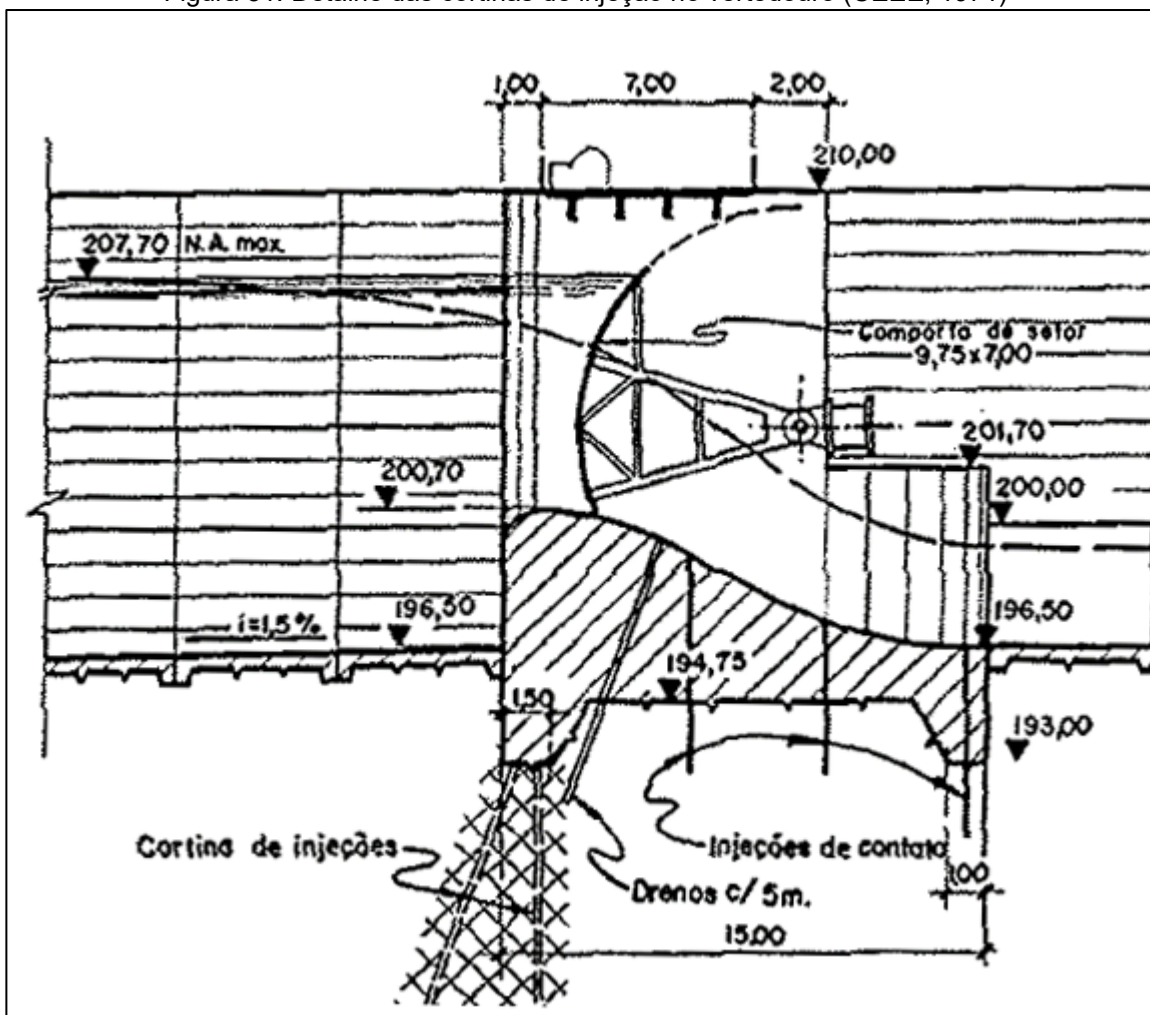


Figura 52. Vista em planta da cortina de injeções no vertedouro (Eletroconsult, 1971)

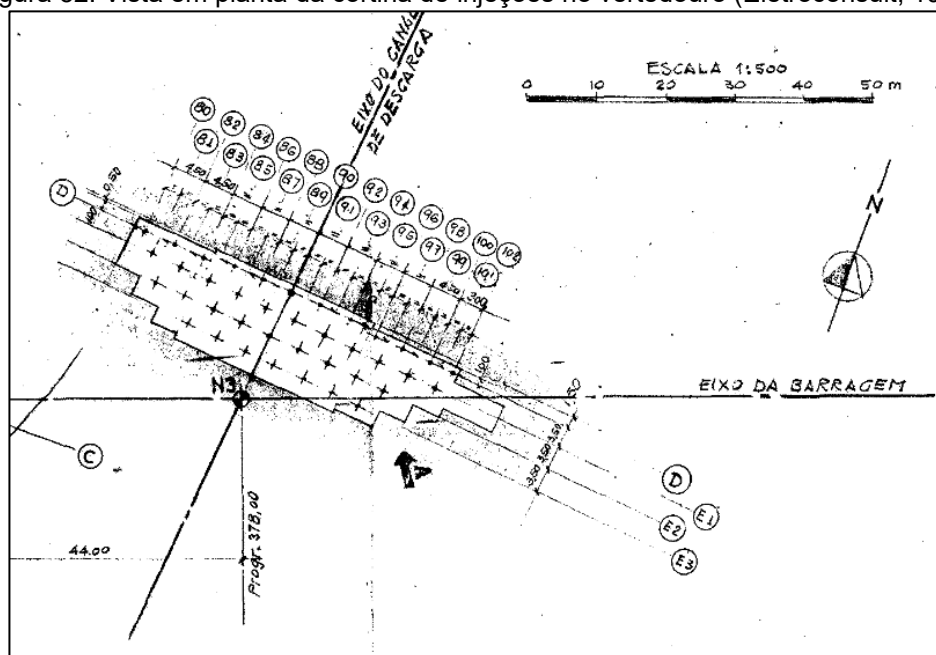
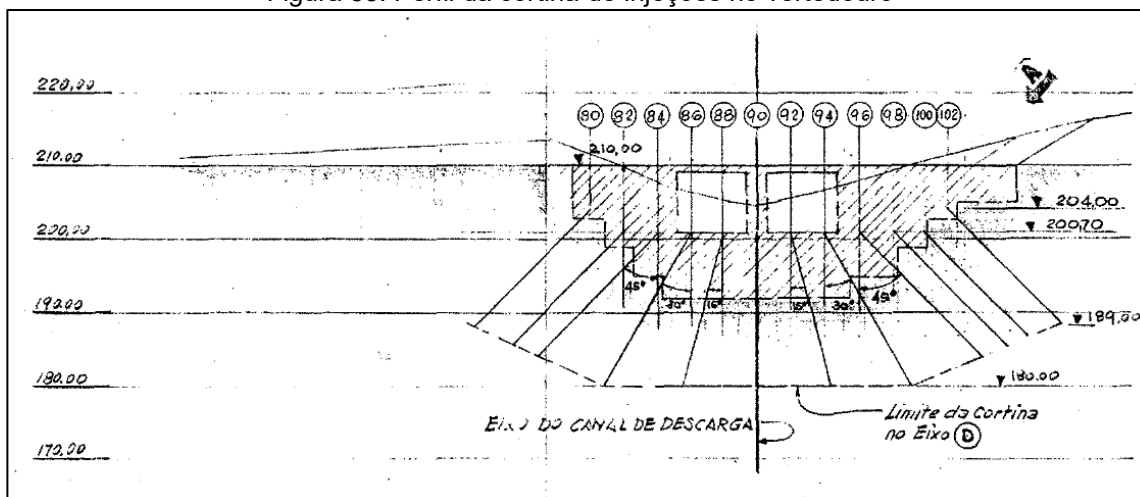


Figura 53. Perfil da cortina de injeções no vertedouro



Durante a inspeção de campo foi observada a presença desses drenos, porém não foi possível verificar se estavam em adequadas condições operacionais, o que pode ocasionar influências quanto à estabilidade da estrutura de concreto do vertedouro (ver item 14.4). A profundidade, prevista em projeto, das injeções na fundação do vertedouro, varia da cota 180,00 a 189,00 m. Não há descrição de outras medidas de tratamento de fundação no restante das estruturas associadas ao vertedouro, tal como o canal de descarga.

Depreende-se, da verificação do material disponibilizado e dos estudos complementares exploratórios realizados, existir notória escassez de informações do período em que a barragem se encontra em operação que possam subsidiar análises conclusivas quanto a verificação das atuais condições geomecânicas e hidráulicas da fundação da barragem, uma vez que a documentação técnica existente é majoritariamente composta de croquis, plantas e memoriais da fase de projeto. Como mencionado, não há registros de obra, escavações, especificação técnica da composição e procedimento executivo, tampouco de controle tecnológico e de qualidade de execução das injeções de impermeabilização das fundações.

Do ponto de vista conceitual, as soluções previstas em projeto vão de encontro às boas práticas e critérios técnicos vigentes à época e que perduram até os dias atuais, restando ausentes registros que atestem as mesmas terem sido executadas em concordância com os projetos. Ainda que não tenha sido fornecido o histórico de medidas dos marcos superficiais de alinhamento, na inspeção de campo realizada não foram constatados recalques, desalinhamentos, trincas ou afundamento que possam estar relacionados à movimentos da fundação.

13.1.2. Análise das vazões de percolação e ocorrência de erosão interna

O memorial descritivo da obra ainda contém uma recomendação de que – no caso de após a construção da barragem ficasse evidenciada a necessidade de diminuição das subpressões – fosse realizada a execução de poços de alívio no pé do talude de jusante. A Figura 54, replicada novamente abaixo, detalha melhor a concepção inicial do enrocamento e dreno de pé da barragem, indicando o eixo previsto para os poços de alívio eventuais. Deve-se atentar que não há registros de diários de obras, relatórios de inspeções mais recentes, ou outra fonte de informação acerca do monitoramento dessa subpressões na fundação ou da existência dos poços de alívio mencionados. Durante a inspeção de campo igualmente não foi possível acessar a área imediatamente a jusante ao pé da barragem, não tendo, portanto, sido localizados quaisquer poços de alívio. Já a reprodução da versão posterior de projeto do filtro de pé, na Figura 55, não indica poços de alívio. Outro aspecto que não pôde ser observado foi a presença de drenos ou dispositivos de medição de vazão, em nenhuma versão de projeto ou em campo (consequentemente não se tem um histórico de dados de leituras) para aferição das vazões percoladas pela fundação.

Figura 54. Detalhe 2 da Barragem de Terra II – Geometria e materiais do pé da barragem (CEEE, 1971)

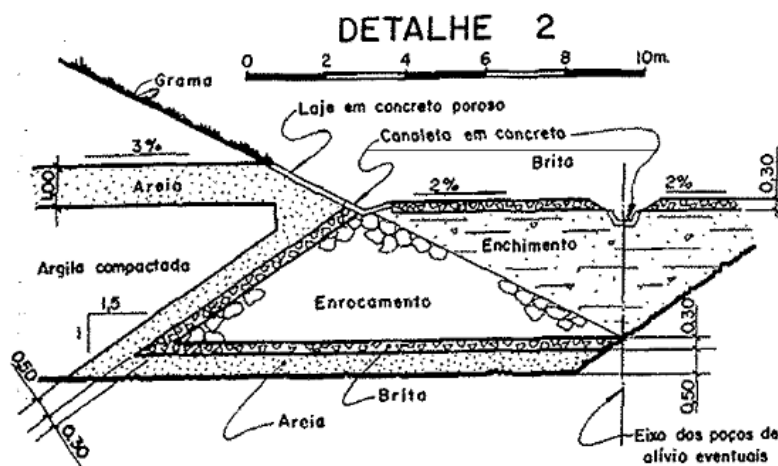
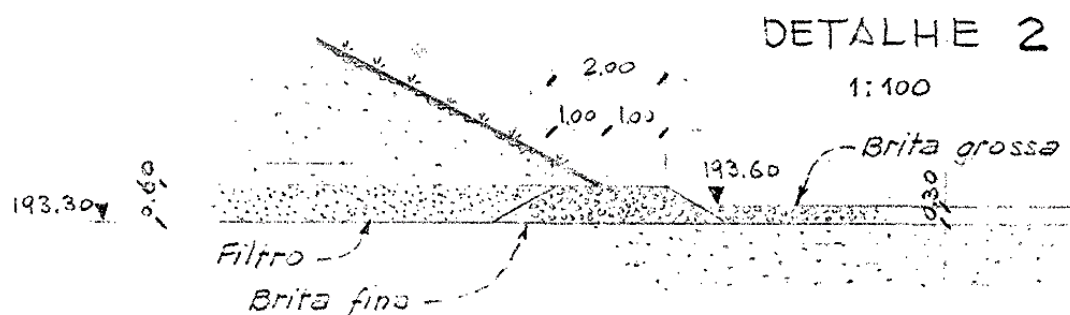


Figura 55. Detalhe 2 atualizado (nov/1971) da Barragem de Terra II – Geometria e materiais do pé da barragem.



Apesar de os instrumentos terem sido instalados quando da construção da barragem, apenas recentemente passaram a ter suas leituras aferidas, de forma que o histórico de dados da instrumentação é incipiente frente ao tempo de operação da barragem e não permite fazer constatações quanto a situações anômalas que podem ter ocorrido ao longo do tempo em que não se tem os dados de leitura disponíveis. As leituras dos instrumentos instalados na fundação (PZ-03 e PZ-04) encontram-se estabilizadas em uma faixa bem definida e sem aparente correlação com a pluviometria regional, indicando ser constante a vazão percolada pela fundação e captada pelo trecho horizontal do filtro interno da barragem, estando ainda controladas as poropressões na fundação.

As leituras do MNA-06 também apresentam comportamento estável, apresentando acréscimo na medição da linha freática quando de precipitações superiores a 50 mm. Já o MNA-05, por sua vez, mostrou comportamento oscilante, com elevada variação nas leituras e sem clara correlação com a pluviometria, de forma que pode ser um indício de falha local no filtro interno. No entanto, uma vez que não existem dispositivos para medição das vazões percoladas internamente e que permitam a observação de ocorrência de carreamento de material do interior do barramento ou correlação com os valores de leitura da instrumentação de auscultação existente, resta inconclusiva a análise quanto a eventuais focos de erosão interna no maciço do aterro, devendo ser realizadas investigações aprofundadas.

13.1.3. Análises de estabilidade da fundação

As condições de contorno da fundação e parâmetros geotécnicos inerentes as suas condições foram consideradas nas análises de estabilidade da barragem, para determinação dos Fatores de Segurança de acordo com os diferentes cenários simulados, sendo esse conteúdo abordado no Capítulo 15 e, mais detalhadamente, relatório REL-209-2020-GEO-12-00 – Avaliação da Barragem de Terra e Enrocamento.

As simulações realizadas, incorporam também as possibilidades de cisalhamento da fundação, em especial, do solo saprolítico. Não foram realizadas simulações de estabilidade ao deslizamento da interface barragem / fundação dada a baixa probabilidade de ocorrência deste cenário, quando analisada a geometria do maciço (baixa altura) e as cargas atuantes.

13.1.4. Ações e recomendações para investigação das condições da fundação da barragem

- Promover campanha de limpeza e recuperação nos instrumentos para verificar eventuais obstruções e presença de material fino no interior dos tubos ou, preferencialmente, realizar a instalação de novos instrumentos uma vez que os instrumentos atuais não contam com um histórico suficiente para se elaborar quaisquer conclusões. Prioridade: alta. Prazo de execução: 06 meses;
- Execução de levantamentos geofísicos (tomografia elétrica, potencial espontâneo, radar de penetração de solo, entre outros), no intuito de verificar fluxos preferenciais d'água, presença de descontinuidades e “vazios” no interior do maciço do barramento. Devido à complexidade técnica e custos elevados destes levantamentos, o empreendedor deverá buscar consultoria de um especialista na área para avaliar a viabilidade, tipologia, espacialização e parâmetros dos ensaios a serem realizados;
- Efetuar capina e limpeza da área a jusante do pé da barragem, objetivando a realização de uma adequada inspeção na área, verificando presença dos poços de alívio e condições de funcionamento do dreno de pé.
- Instalar dispositivos e iniciar monitoramento das vazões percoladas no pé da barragem, bem como observar o carreamento de finos que possam indicar *piping* no aterro ou perda de integridade do filtro interno, conforme recomendações do relatório REL-209-2020-RDI-02-00;
- Implementar rotina de aferição dos deslocamentos de marcos superficiais, com frequência trimestral;
- Inspeção por vídeo nos drenos da soleira do vertedouro, verificando possíveis obstruções e condições de conservação para análise de medidas corretivas. Pode-se ainda realizar o monitoramento do nível d'água no interior dos tubos com pio elétrico;
- Caso constatada a obstrução dos drenos, a serem descobertos, sugere-se a desobstrução por injeção de ar e água sob pressão e avaliação/monitoramento das vazões produzidas;
- Dada as condições de integridade da estrutura de concreto da soleira do vertedouro e canal de descarga, sem evidências de anomalias relacionadas à estabilidade e capacidade de carga da fundação, não são recomendadas re-perfurações ou ensaios destrutivos;

13.2. AVALIAÇÃO DO RESERVATÓRIO

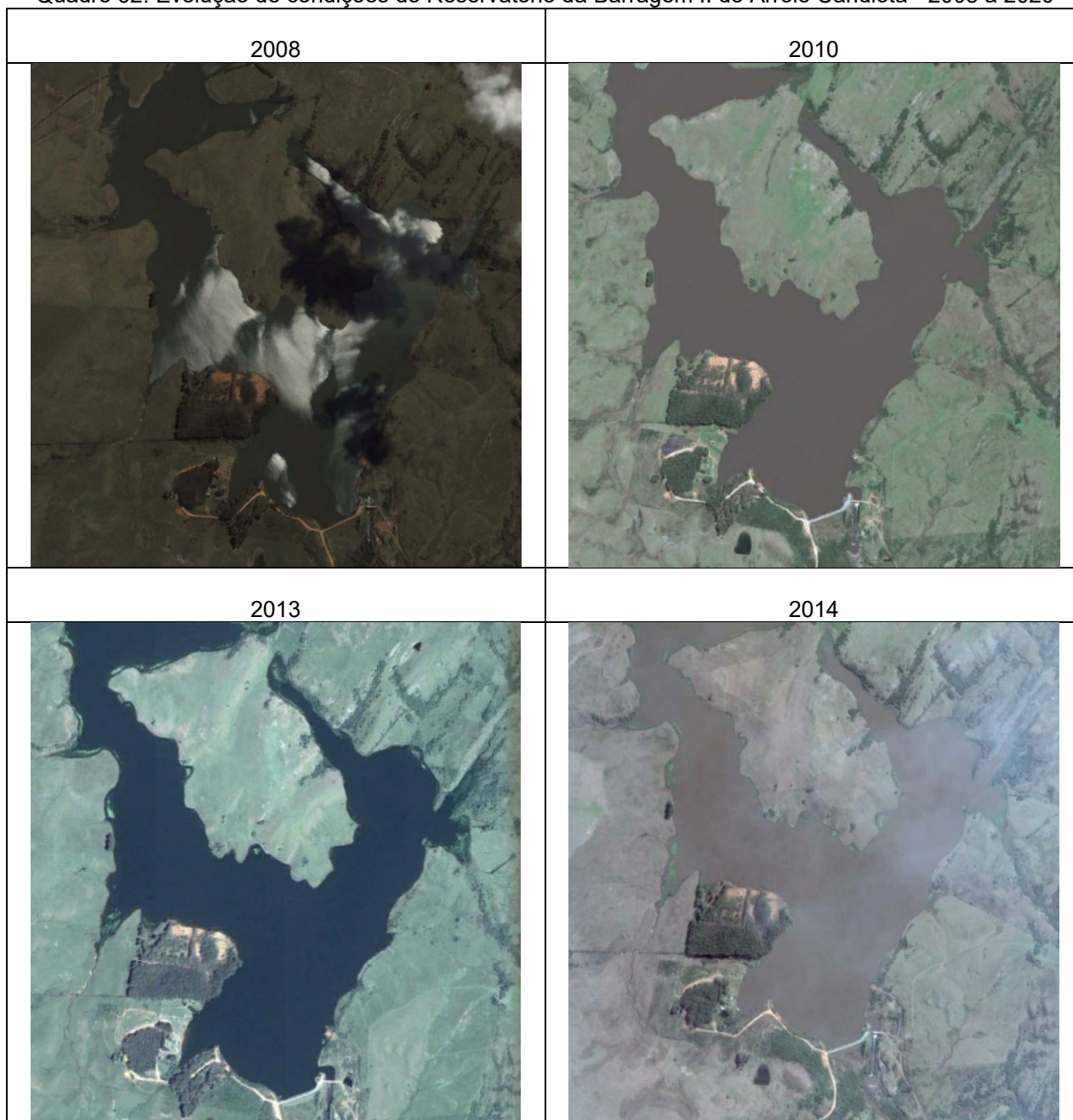
Durante a Inspeção Especial de Segurança realizada no âmbito do contrato, foram inspecionadas visualmente as imediações do reservatório junto à barragem, especialmente as margens juntos ao canal de aproximação do vertedouro, interface com o talude de montante e margem direita, próximo ao acesso da

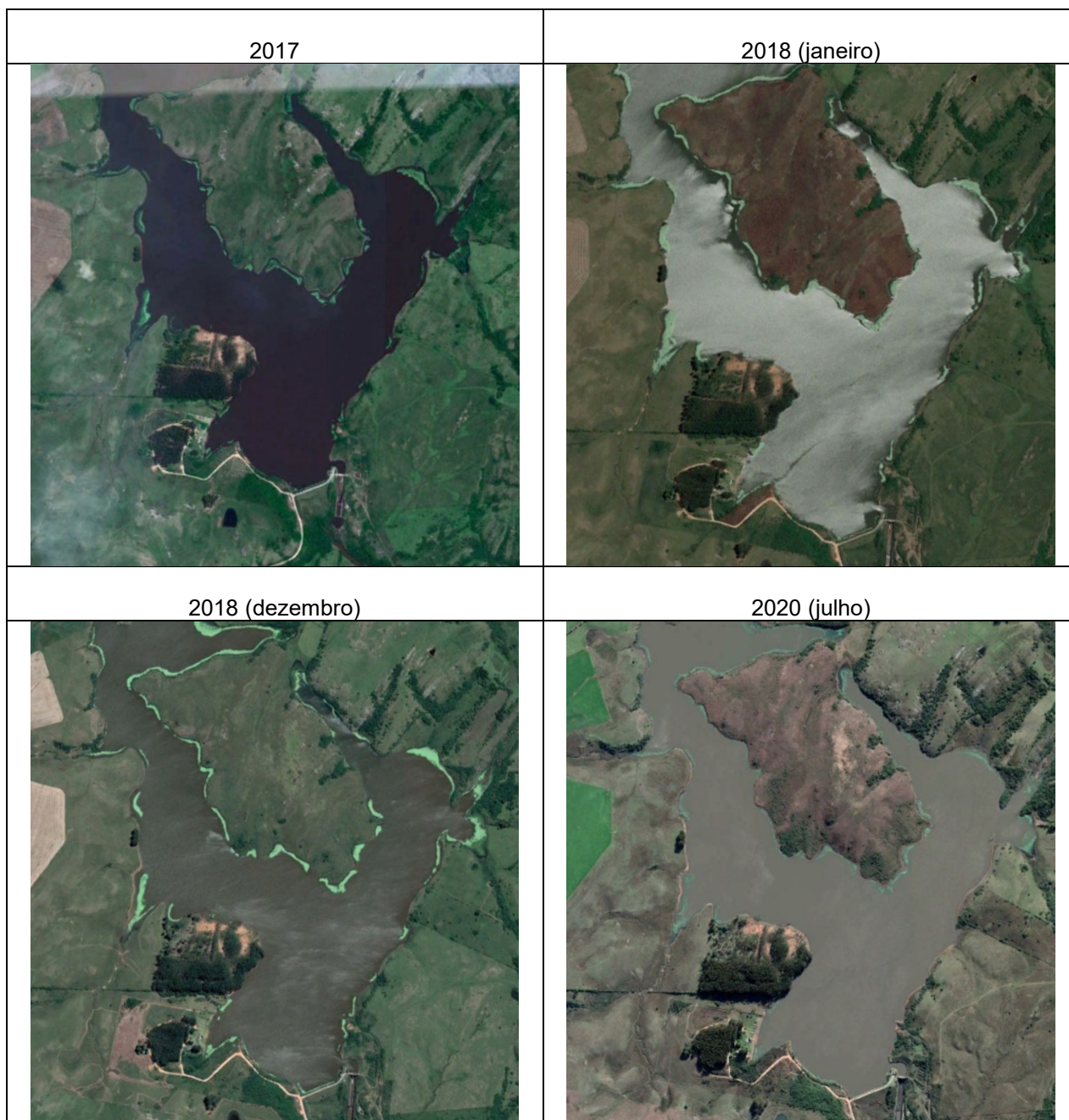
barragem. Não foram realizadas navegações, batimetrias ou investigações de todo o perímetro do reservatório, sendo, portanto, as análises limitadas à área e metodologia empregada na inspeção, assim como à falta de dados e informações mais abrangentes disponibilizados na documentação técnica empreendimento.

A avaliação das condições periféricas do reservatório foi realizada com base em dados geoespaciais e sistemas de informações geográficas de consulta pública. De forma geral, pode-se dizer que inexistem anormalidades ou ocorrências que remetam a situações de alerta e que possam ser prejudiciais à operação e segurança da barragem. O Quadro 62 traz as imagens de satélite da área do reservatório, entre os anos de 2008 e 2020.

As imagens não evidenciam mudanças abruptas na área inundada pelo reservatório, apresentando uma mancha alagada constante, de modo que não há indícios de perda d'água por vales colaterais, fraturamentos ou pelos maciços adjacentes à barragem. Acerca da proliferação de vegetação macrófita no reservatório, percebe-se que não se trata de uma anomalia crônica ou generalizada, posto que a presença desse tipo de vegetação está restrita às margens e em pequena proporção, conforme se exemplifica nas imagens dos anos de 2017 a 2020. Apenas na imagem referente ao mês de dezembro de 2018 é que o fenômeno se mostrou ligeiramente mais acentuado, possivelmente em virtude de maior carga orgânica ou outras condicionantes favoráveis para sua ocorrência.

Quadro 62. Evolução de condições do Reservatório da Barragem II do Arroio Candiota - 2008 a 2020





Pela observação das imagens do Quadro 62, nota-se que não há processos erosivos vigentes nas margens do reservatório, bem como não há evidências de instabilidades e movimentos de volumes de terra em direção ao interior do reservatório. De fato, as imagens elucidam que as condições perímetro do reservatório se encontram estáveis, sem mudanças na morfologia das margens, sendo o mesmo formado por áreas de vegetação rasteira, estando ainda essa vegetação mais ou menos “vistosa” conforme ocorrência de períodos de estiagem.

No que tange aos taludes circundantes, pode-se verificar que se trata de uma região de relevo levemente ondulado, com taludes bastante abatidos nas margens, não sendo notadas escarpas ou maciços em condições de instabilidade que possam acarretar a formação de ondas no reservatório com possibilidade de ocasionar galgamento da barragem ou das estruturas extravasoras, afirmação corroborada pelas imagens do Quadro 62. Na inspeção não foram notadas anomalias relevantes nos taludes junto ao canal de aproximação do vertedouro, estando o mesmo com proteção vegetal superficial adequada.

Outro aspecto relevante que cabe ressaltar é que não se configuraram mudanças no uso e ocupação do solo nas margens do reservatório, sem a ocorrência de novas construções ou ocupações irregulares. Ainda, uma aparente região de solo exposto que pode ser configurada como uma zona de erosão ou falta de proteção vegetada existe no quadrante inferior esquerdo das imagens, onde é possível notar cultivo de árvores coníferas, também, conforme as imagens ilustram, não apresenta evolução das condições citadas.

Não é possível tecer maiores comentários acerca das condições atuais de assoreamento na face do talude de montante e na porção do reservatório junto às comportas e descarregador de fundo. Incorre-se, adicionalmente, no fato de que, pelas mesmas razões de carência das informações batimétricas, a Curva x Cota x Área (CAV) do reservatório não pôde ser atualizada. Uma avaliação qualitativa, baseada nos mapas de produção de sedimentos elaborados por Campagnoli (2006) mostra que a bacia do reservatório de acumulação apresenta de médio a alto potencial de produção de sedimentos, de forma que possivelmente, dado o longo tempo de operação do reservatório, o volume útil se encontre diminuído em relação ao valor indicado nos projetos.

Recomenda-se, portanto, a realização de levantamento batimétrico imediato, e posteriormente com periodicidade a cada 15 anos, com vistas a monitorar a deposição de sedimentos na face de montante e na bacia de aproximação do vertedouro, bem como verificar a geometria do talude de montante e proporcionar atualização da CAV.

14. AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS EXTRAVASORAS, DISSIPADORAS DE ENERGIA E DE OPERAÇÃO

Documento de referência: REL-209-2020-HID-11-00 – Relatório de Avaliação das Estruturas Extravasoras, Dissipadoras de Energia e de Operação

No documento de referência supracitado, a partir dos resultados da revisão dos estudos hidrológicos e definição dos hidrogramas de projeto para diferentes tempos de retorno, a capacidade do vertedouro foi verificada para os valores calculados, a partir de equações estabelecidas na literatura. Como o vertedouro da Barragem II do arroio Candiota é controlado por comportas, foi dada especial atenção a essas estruturas, buscando-se verificar se a sua manutenção e operação está adequada, uma vez que a falha na abertura de uma das estruturas durante um evento de cheia por resultar no galgamento da barragem de terra e, conseqüentemente, na sua ruptura. As dimensões da bacia de dissipação de energia também foram verificadas para as vazões resultantes da revisão do estudo hidrológico. Adicionalmente, foram analisadas as propriedades dos materiais de construção e as condições de tratamentos de fundação, a partir da documentação disponibilizada.

As metodologias e parâmetros de cálculo das verificações efetuadas quanto às estruturas extravasores pode ser detalhadamente consultada no relatório REL-209-2020-HID-11-00, apresentando-se a seguir um extrato sintetizado das conclusões e recomendações do respectivo documento.

14.1. VERIFICAÇÃO DO VERTEDOURO

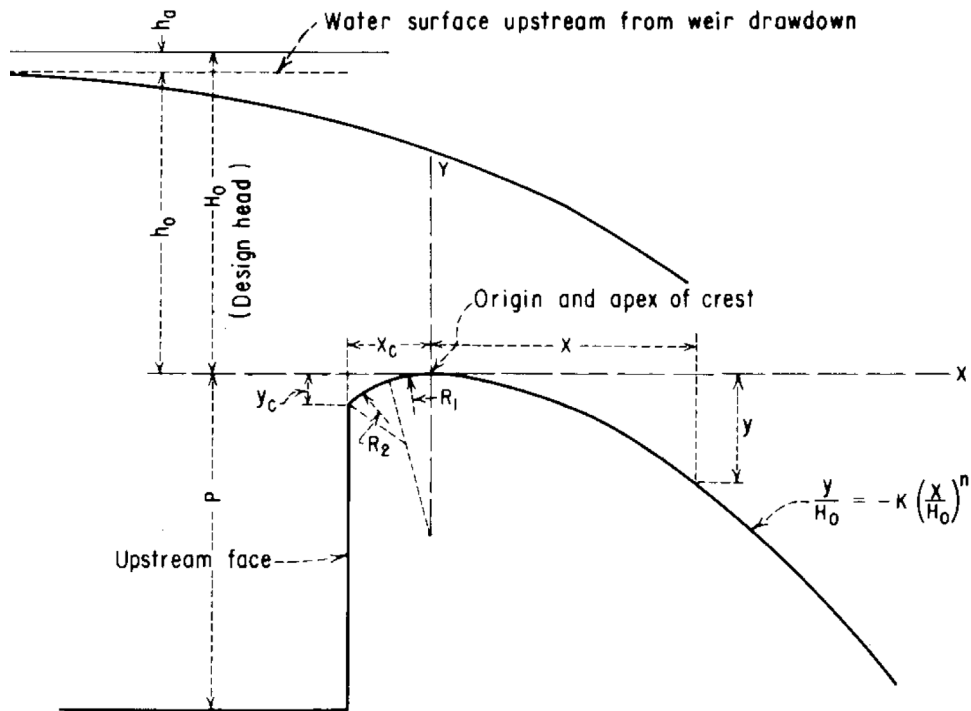
O vertedouro da Barragem II do arroio Candiota é controlado por duas comportas de setor, com vãos de 9,75 m e 7,17 m de altura. Conforme dados de projeto, a cota da crista do vertedouro (CCV) é 200,70 m, o nível máximo normal (NA máx.) é 207,70 m, o nível máximo *maximorum* (NA máx. máx.) é 208,40 m e a cota da crista da barragem (CCB) é 210,00 m. O paramento de montante do vertedouro é vertical e possui cota de fundo igual a 196,50 m. A jusante, o perfil do vertedouro se desenvolve por cerca de 15,00 m, até encontrar o canal rápido, na cota 196,50 m. No projeto, considerou-se que o nível mínimo de água no reservatório é 196,70 m.

Conforme o Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB (2021), não há, no Brasil, um critério claro para a magnitude da cheia a ser considerada em projetos de vertedouros. Nesse sentido, a partir da consulta em bibliografias brasileiras, considerou-se que a adoção de um evento de projeto com tempo de recorrência milenar para a verificação hidráulica do vertedouro da Barragem II, do arroio Candiota, está adequado.

A partir dos valores calculados para um evento com recorrência de 1.000 anos, considerou-se que a barragem está segura frente aos critérios de projeto utilizados, por mais que tenha havido alteração nos valores de vazão e níveis de água no reservatório ao comparar esta revisão do estudo hidrológico com os valores utilizados em projeto. No entanto, ressalta-se que para níveis de água da ordem de 208,90 m, que correspondem à vazão decamilenar efluente, a relação H/H_0 passa a ser maior que 1,4, começando a possibilitar a ocorrência de pressões negativas perigosas à superfície em concreto, sendo possíveis danos em eventos dessa magnitude. Na Figura 56 são mostradas as variáveis geométricas do vertedouro da barragem. A Figura 57 e a Figura 58 apresentam a curva de descarga do vertedouro para uma e para as duas comportas abertas, respectivamente.

Figura 56. Perfil do vertedouro da Barragem II

a) Relações geométricas de vertedouro tipo Creager



b) Geometria do perfil do vertedouro da Barragem II do Arroio Candiota

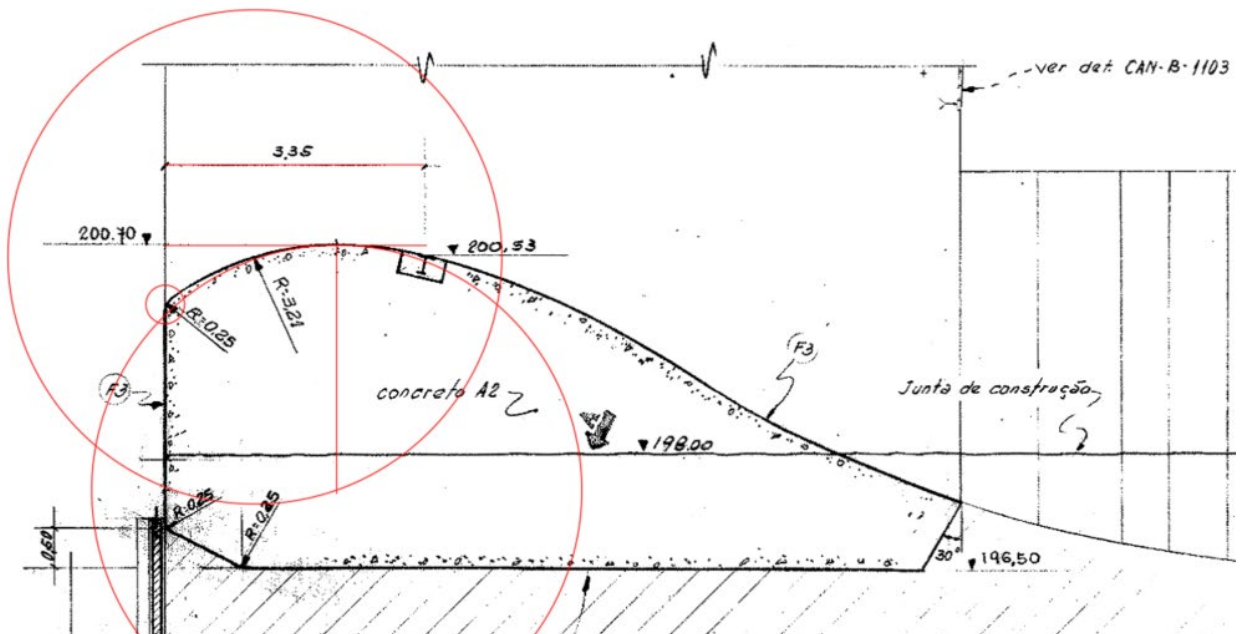


Figura 57. Curva de descarga do vertedouro com uma comporta aberta

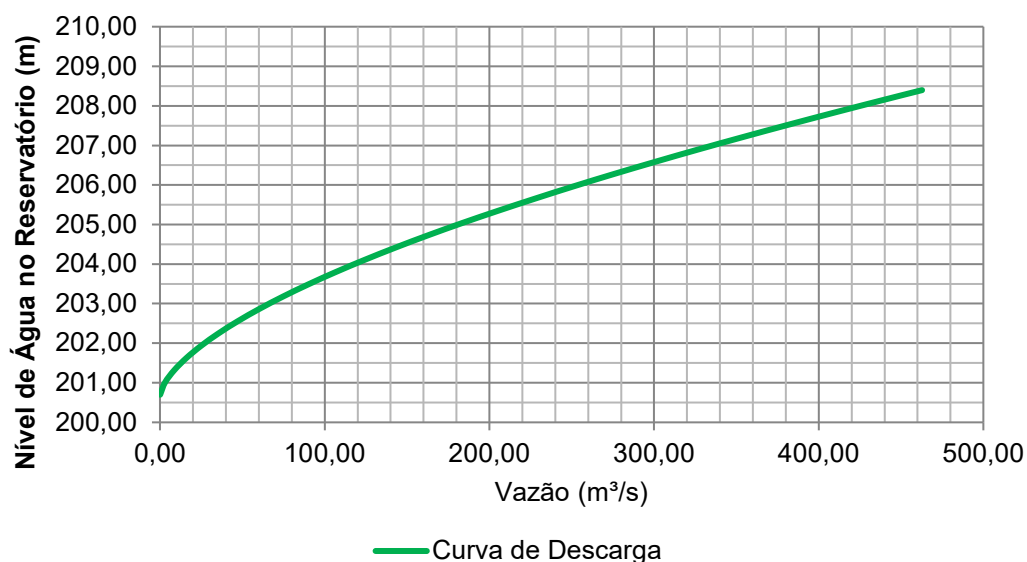
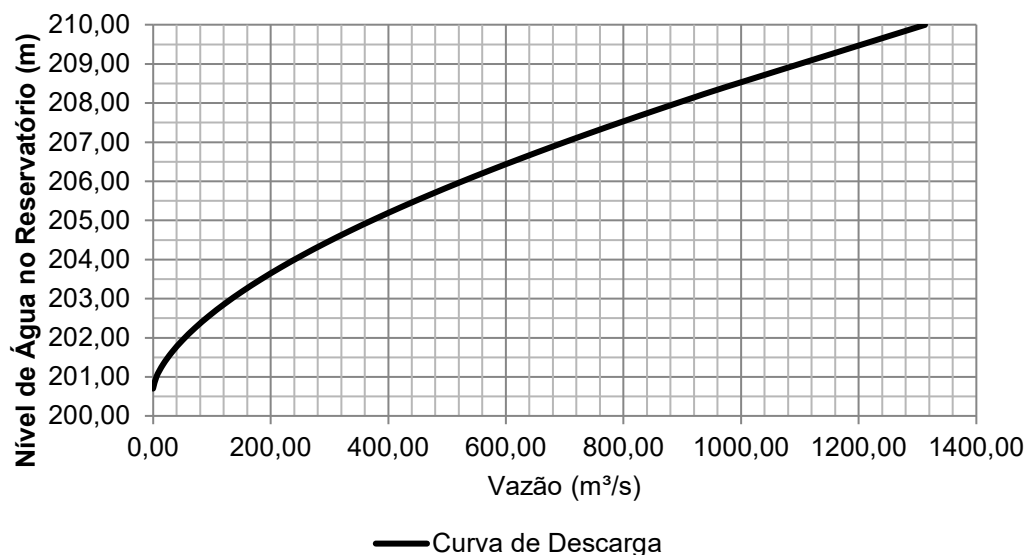


Figura 58. Curva de descarga do vertedouro com duas comportas abertas



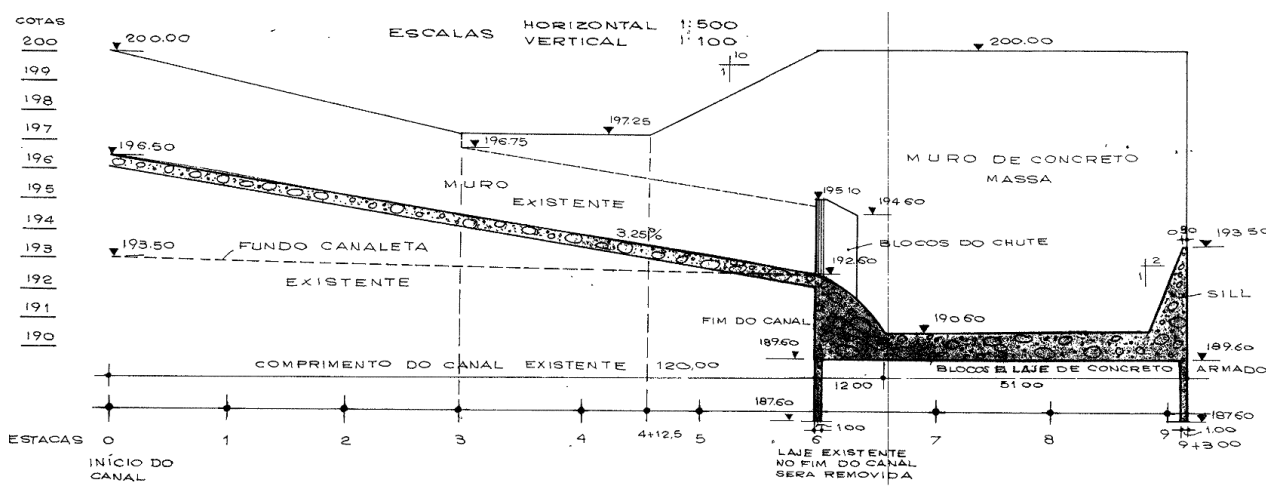
14.2. VERIFICAÇÃO DA BACIA DE DISSIPAÇÃO

O objetivo principal de um dissipador de energia é reduzir a energia cinética a jusante do vertedouro, operando com a máxima eficiência e neutralizando os danos a jusante para uma determinada vazão. Para tanto, é comum a construção de uma bacia de dissipação revestida em concreto armado que abrigue o ressalto, principalmente quando a rocha de fundação do vertedouro não é competente em termos geomecânicos. No entanto, existe uma alternativa econômica de permitir que o ressalto ocorra na própria rocha a jusante do vertedouro (CBDB, 2021).

Em relação à bacia de dissipação, originalmente, o projeto previa a solução mais econômica (CEEE, 1971), com ocorrência do ressalto parcialmente na rocha, a qual foi executada. Todavia, foi necessário recuperar uma cava erodida a jusante do vertedouro, executando-se uma bacia de dissipação em concreto, após a demolição da laje em concreto que constituía a bacia original (MUNARSKI, 1978). Esta é a solução que se observa em campo.

Atualmente, a bacia de dissipação de energia é composta por uma laje em concreto armado sobre a área recuperada com solo cimento ou enrocamento injetado com argamassa, com 1,00 m de espessura, situada na cota 190,60 m. A largura desta bacia é igual àquela do canal de descarga, com 22,0 m, e foi dimensionada para uma vazão de 780 m³/s, ou seja, para uma vazão específica de 35,45 m³/s/m. Os muros foram projetados na cota 200,00 m e a bacia de dissipação com um comprimento de 51,00 m. A Figura 59 demonstra a concepção de projeto do canal de descarga e bacia de dissipação.

Figura 59. Croquis do perfil longitudinal do canal de descarga e da bacia de dissipação



No entanto, a partir do aumento das vazões para diferentes tempos de retorno, conforme apresentado no estudo hidrológico, foi necessário verificar a bacia de dissipação para vazões superiores à sua vazão de projeto. Em relação a isso, constatou-se que a bacia de dissipação está subdimensionada para um evento de cheia com recorrência milenar, no que tange ao comprimento da estrutura e à cota de topo dos muros laterais (não atende às cotas necessárias para borda livre), conforme apresentado no Quadro 63. Entretanto, conforme justificado anteriormente, recomenda-se que qualquer decisão em relação à execução, ou não, de alterações nessas estruturas, sejam tomadas a partir de uma revisão deste estudo e do estudo hidrológico, executada com dados que melhor representem à realidade atual, com uma série histórica de níveis de água no reservatório, de vazões afluentes etc. Além disso, recomenda-se a elaboração de uma curva-chave para o arroio Candiota, a jusante da bacia de dissipação.

Quadro 63. Verificação dos cenários da bacia de dissipação

TR (anos)	Q (m ³ /s)	Comprimento necessário bacia de dissipação (m)	Borda livre (m)	Cota do topo dos muros laterais para atender borda livre (m)
Projeto	780,00	50,00	2,49	203,57
100	875,00	60,41	2,82	204,50
500	1003,00	63,93	2,99	205,45
1000	1072,00	68,88	3,08	205,94

14.3. VERIFICAÇÃO DA FUNCIONALIDADE DAS COMPORTAS

A partir da Inspeção Especial executada, foram observadas diversas anomalias nas comportas, tais como problemas de vedação, oxidação em peças fixas e móveis, inclusive em parafusos onde ocorre a transmissão de esforços decorrentes do movimento de abertura e problemas no acionamento elétrico de uma das comportas. Também não foi testado o acionamento manual das comportas por não estar presente a manivela de operação. Na Figura 60 ilustra-se algumas das anomalias verificadas.

Figura 60. Anomalias nas comportas do vertedouro

a) Falta de estanqueidade da comporta 01



b) Deterioração de componentes da comporta 01



c) Oxidação de parafusos e partes metálicas



Dessa forma, são apresentadas recomendações para manutenção das comportas.

- Dever-se-á providenciar novas tampas para as capas dos motores elétricos, com pintura adequada. Devido à deformação plástica, provavelmente não se conseguirá realizar o conserto nas tampas existentes;
- Dever-se-á providenciar fechamento adequado, com vedação para as tampas;
- Dever-se-á providenciar manutenção no sistema de movimentação das comportas para remoção da umidade e prover nova lubrificação, e;

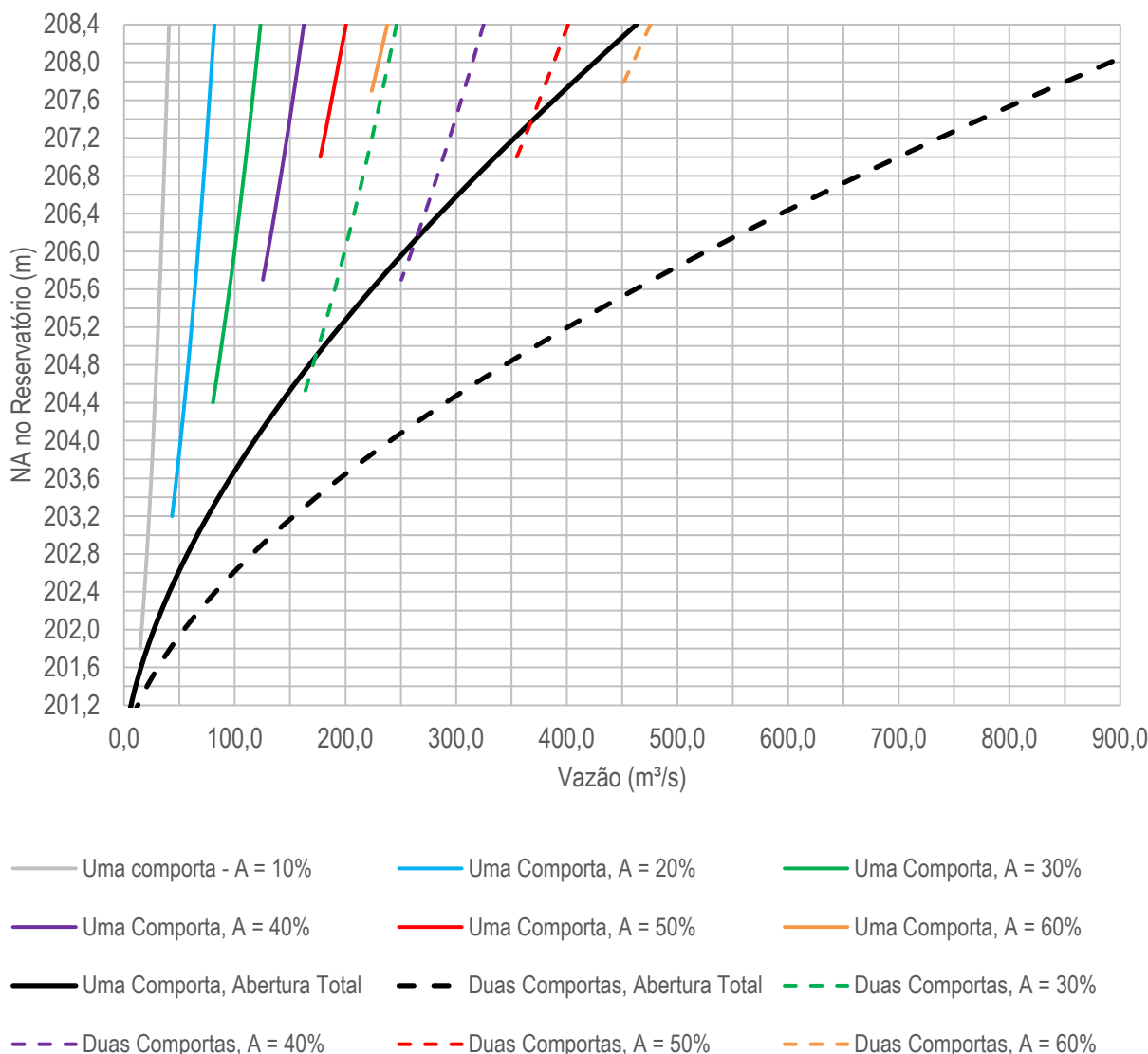
- Dever-se-á providenciar teste de abertura para as duas comportas, por que, segundo informação do operador das comportas, os testes de rotina de abertura e fechamento são realizados somente na Comporta 1.

Ressalta-se, aqui, a importância de toda a equipe que efetivamente opera e executa atividades de manutenção no sistema conhecer toda a documentação pertinente, onde pode ser citado o documento denominado *Instruções para Operação das Comportas de Candiota II* (VOGG, 1974). Ainda, comenta-se que o plano de manutenção e operação atualmente utilizado pela equipe não atende às especificações de operação e manutenção indicadas pelo fabricante, podendo resultar e/ou justificar anomalias nas comportas e no seu sistema de acionamento. Por fim, em relação às comportas, recomenda-se que antes da próxima revisão de segurança da barragem, que se faça a medição da espessura de parede dos panos da comporta, para caracterização de seu estado após 50 anos em operação.

A Figura 61 apresenta as relações entre vazão e nível de água no reservatório para as comportas completamente abertas e para diferentes percentuais de abertura. Recomenda-se que sejam respeitadas as aberturas máximas das comportas para diferentes níveis de água, conforme apresentado na figura. A metodologia utilizada é aquela apresentada em USBR (1987), que considera um modelo de orifício para o vertedouro e define coeficiente de escoamento para diferentes ângulos de abertura da comporta.

Para a elaboração desta figura, definiu-se que deveria haver uma folga de 20% entre a profundidade crítica calculada para um determinado nível de água e a altura vertical da comporta aberta. Esse critério é importante para garantir que não haverá alteração de escoamento livre para escoamento pressurizado junto à comporta, o que implicaria vibração excessiva do sistema. Assim, não é recomendado, para qualquer nível de água, a abertura de mais 60% das comportas. Caso seja necessário uma abertura superior a 60%, para qualquer nível, deverá ser efetuada a abertura total da comporta. Para determinados níveis, abaixo de 207,70 m, as aberturas limites são inferiores a 60%, conforme limites das curvas apresentadas.

Figura 61. Relações entre Nível de Água no reservatório e Vazões Efluentes para diferentes aberturas das comportas



14.4. ANÁLISE DA ESTRUTURA DE CONCRETO DO VERTEDOURO

Também, nos estudos realizados, foi verificada a análise de estabilidade da estrutura de concreto correspondente aos blocos de sustentação das comportas do vertedouro. As premissas, limitações, condições de contorno e memoriais de cálculo das verificações de estabilidade podem ser consultadas detalhadamente no documento de referência do presente capítulo.

Foram adotados como mínimos satisfatórios os coeficientes de segurança recomendados nos Critérios de Projetos Cíveis da Eletrobrás. Os coeficientes são requisitados conforme as condições de carregamentos, as quais são classificadas de acordo com o a transcrição abaixo. Os cenários com as hipóteses de carregamento são mostrados no Quadro 64.

- Condição de Carregamento Normal (CCN): Corresponde a todas as combinações de ações que apresentem grande probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura, durante a operação normal ou manutenção de rotina da obra, em condições hidrológicas normais.

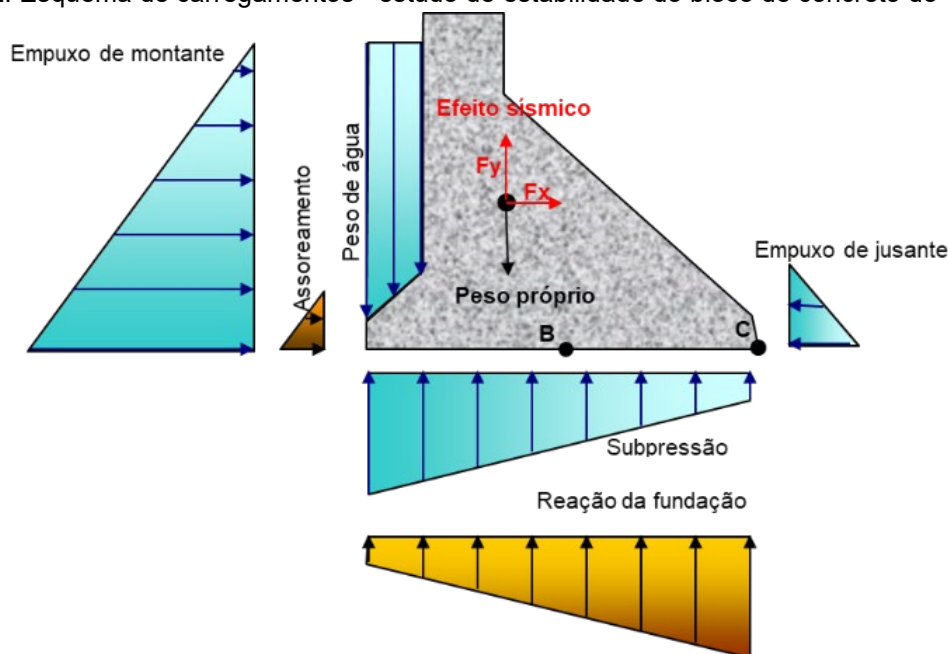
- Condição de Carregamento Excepcional (CCE): Corresponde a uma situação de combinação de ações com baixa probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura. Em geral, estas combinações consideram a ocorrência de somente uma ação excepcional, tais como, condições hidrológicas excepcionais, defeitos no sistema de drenagem, manobras de caráter excepcional, efeitos sísmicos etc. com as ações correspondentes a condição de carregamento normal.
- Condição de Carregamento Limite (CCL): Corresponde a uma situação de combinação de ações com muito baixa probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura. Em geral, estas combinações consideram a ocorrência de mais de uma ação excepcional, tais como, condições hidrológicas excepcionais, defeitos no sistema de drenagem, manobras de caráter excepcional, efeitos sísmicos etc. com as ações correspondentes a condição de carregamento normal.

Quadro 64. Hipóteses de carregamentos

Hipótese	CC	Nível do Reservatório	Nível NA de jusante	Drenagem	Assoreamento	Efeito Sísmico
1	CCN	207,70	193,00	Operante	Com	Sem
2	CCE	207,70	193,00	Inoperante	Com	Sem
3	CCL	207,70	193,00	Inoperante	Com	Com
4	CCL	208,40	199,30	Operante	Com	Sem

O esquema de carregamentos dos modelos de análise adotado é apresentado na Figura 62, enquanto Quadro 65 o resumo dos resultados para cenários simulados.

Figura 62. Esquema de carregamentos - estudo de estabilidade do bloco de concreto do vertedouro



Quadro 65. Resumo dos resultados - análise de estabilidade do bloco do vertedouro

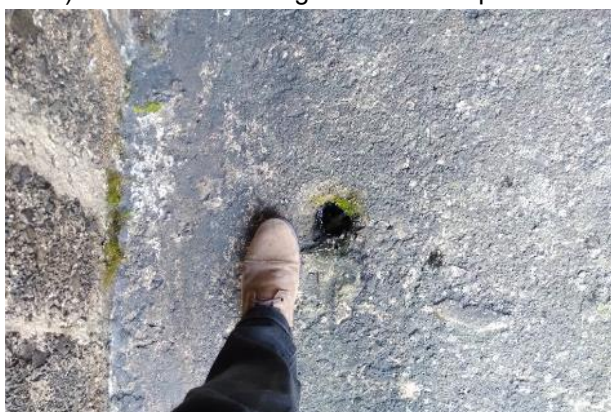
Hipótese	CC	Fatores de segurança globais						Tensões extremas		Fissura
		Tombamento		Deslizamento		Flutuação		A1 (t/m ²)	A2 (t/m ²)	
		Limite	Calculado	Limite	Calculado	Limite	Calculado			
1	CCN	1,5	1,70	1	3,82	1,3	2,95	3,41	20,87	
2	CCE	1,3	1,51	1	6,04	1,2	2,50	0,00	22,08	0,01m
3	CCL	1,1	1,03	1	1,49	1,2	1,35	0,00	44,41	11,8m
4	CCL	1,1	1,47	1	7,39	1,1	2,05	2,67	16,24	

Para os critérios de cálculo adotados no estudo de estabilidade, a barragem se mostrou estável, porém não atingiu os fatores de segurança recomendados para a hipótese de carregamento que associa efeitos sísmicos e drenagem inoperante. Para a Condição de Carregamento Limite 3, o fator de segurança ao tombamento ficou em 1,03, inferior ao recomendado (1,1). Além disso, no contato com a fundação, foi detectada formação de fissura superior à 1/3 da base, que supera o critério usualmente adotado. Para as demais hipóteses de carregamento, todos os fatores de segurança ficaram acima dos recomendados.

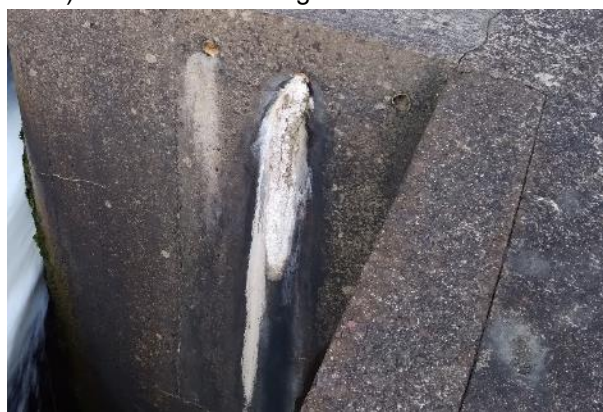
Conforme Relatório de Inspeção Especial (REL-209-2020-HID-03), na data da inspeção, mesmo com a barragem operando em seu nível normal, com uma carga hidrostática bastante considerável, os drenos não estavam operantes (Figura 63 - a). Neste caso, há duas possibilidades, não há subpressão significativa atuando neste ponto ou os drenos encontram-se colmatados. Além disso, observou-se que um dreno, na parede de fundo do canal de descarga, estava colmatado (Figura 63 - b).

Figura 63. Anomalias nos drenos de descarga de fundo do bloco do vertedouro

a) Dreno de descarga de fundo inoperante



b) Dreno de descarga de fundo colmatado



Tendo em vista que os drenos do vertedouro são dispositivos de alívio da subpressão e atuam em favor da segurança da barragem, a aparente falta de funcionalidade coloca em dúvida se os mesmos se encontram obstruídos, ou não, o que pode reduzir severamente os coeficientes de segurança do barramento de concreto, conforme apresentado, fato este que preocupa e necessita ser observado com zelo. Dessa forma, recomenda-se que seja executada uma limpeza e desobstrução dos drenos, garantindo as condições de estabilidade para o bloco do vertedouro.

Nesse sentido, poderá ser efetuada inspeção por vídeo nos drenos, verificando possíveis obstruções e condições de conservação para análise de medidas corretivas. Pode-se ainda realizar a medição do nível d'água no interior dos tubos com pio elétrico. Caso constatada a obstrução dos drenos, sugere-se a desobstrução por injeção de ar e água sob pressão em todos os drenos que forem encontrados. De forma complementar, recomenda-se o estudo e avaliação para planejamento e execução de investigação da fundação por métodos indiretos, tais como ensaios geofísicos (Radar de Penetração de Solo e métodos elétricos), para verificar as condições de interface da fundação com as estruturais civis, presença de drenos, linhas de fluxos, fraturamento etc.

15. AVALIAÇÃO DA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

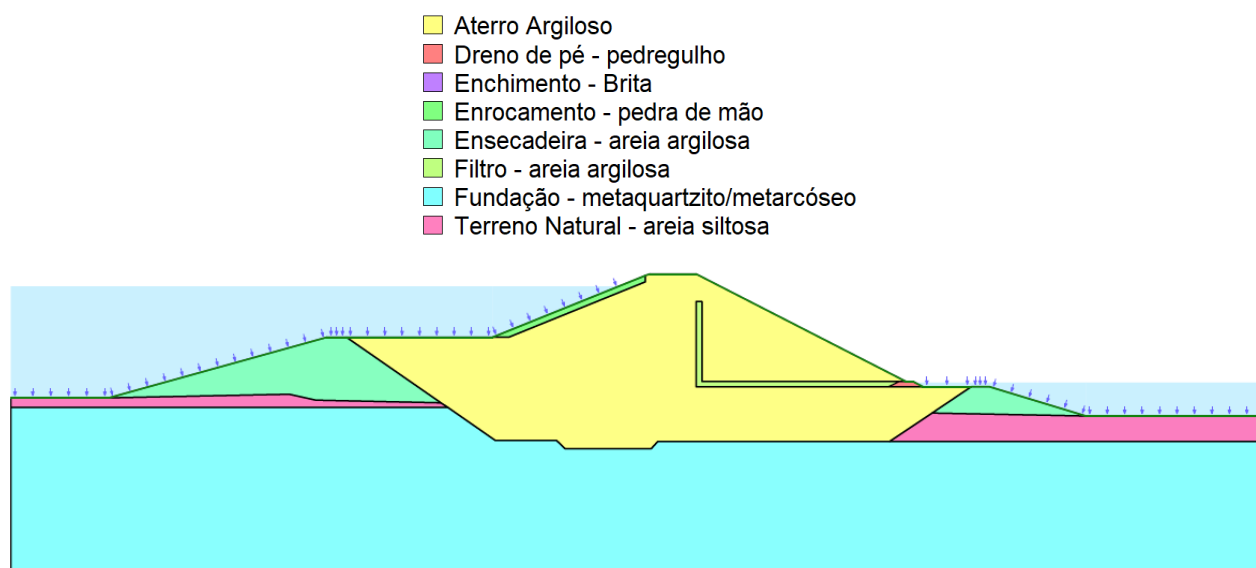
Documento de referência: REL-209-2020-GEO-12-00 – Relatório de Avaliação da Barragem de Terra e Enrocamento.

O estudo de avaliação da barragem de terra e enrocamento buscou avaliar diferentes cenários de esforços atuantes sob o maciço de terra da barragem, os quais podem vir a ocorrer durante a sua vida útil.

Os modelos geológico-geotécnicos empregados nas análises foram formulados a partir das análises realizadas nos relatórios REL-209-2020-GEO-09-00 e REL-209-2020-GEO-10-00, consubstanciados no Capítulo 12 e no Capítulo 13, respectivamente, do presente documento, nos quais foram definidos os parâmetros geomecânicos dos materiais, a geometria atualizada da seção de análise (com base no levantamento planialtimétrico realizados durante a ISE), bem como demais condições de contorno necessárias.

É de suma importância reiterar a limitação do estudo quanto aos dados disponíveis, de forma que parte dos parâmetros geomecânicos foi definida a partir de ensaios laboratoriais dos **materiais das jazidas** e não de amostras do maciço construído, não havendo ensaios disponíveis do controle tecnológico da etapa de obra, e parte foi proveniente da bibliografia quando se mostrou o único recurso disponível. A Figura 64 traz o modelo geométrico da seção crítica analisada. Os parâmetros geomecânicos utilizados são aqueles apresentados no Quadro 61.

Figura 64. Modelo Geométrico utilizado nas análises de estabilidade.



Os cenários simulados quanto à estabilidade foram os relacionados abaixo, sendo descritos no item 15.2.

- Estabilidade global – situação de percolação estável;
- Estabilidade com filtro colmatado
- Estabilidade sujeita a tráfego
- Estabilidade sujeita a sismicidade
- Estabilidade sujeito a rebaixamento rápido do reservatório

15.1. MODELAGEM DAS REDES DE FLUXO

A definição das linhas de fluxo pelo maciço e fundação limitou-se a uma modelagem teórica sem calibração, uma vez que não há amplos registros piezométricos e dos poços de monitoramento disponíveis na barragem, conforme demonstrado no documento REL-209-2020-RDI-02-00 de Avaliação da Instrumentação. Foram realizadas análises considerando a existência de elementos de controle de percolação (filtros), ajustando-se a seção tipo mais crítica obtida dos projetos originais e do levantamento topográfico cadastral. O Quadro 66 apresenta as condições de contorno, utilizadas para ajustar a linha freática da seção-tipo.

Quadro 66. Condições de contorno a partir dos instrumentos e sondagens para calibração da linha freática

Seção Tipo	Análise	Montante	Jusante	Pé da barragem
B-B	- Estabilidade global - Tráfego - Sismicidade	- NA máx: 208,40 m	- Paramento de jusante: face de infiltração potencial.	- Terreno Natural: 193,80 m
	- Rebaixamento rápido	- NA inicial: 207,40 m - NA final: 196,40 m - Paramento de montante: face de infiltração potencial.	-	- Terreno Natural: 193,80 m

Foi utilizado o *software* gráfico SEEP/W-2018, pertencente à *GEOSTUDIO International Ltd.*, que tem como base de cálculo o método de elementos finitos, podendo ser utilizado para modelar a movimentação e distribuição das poropressões em meios porosos, tanto no solo como na rocha, e pode ser modelado tanto o fluxo saturado quanto o fluxo não saturado. A determinação do fluxo em meios porosos em regime permanente e transiente é efetuada através da resolução da Equação de Richards. Com este programa é possível analisar problemas de percolação, tanto simples como de alta complexidade. É formulado com base na condutividade hidráulica e somente para fluidos que seguem a Lei de Darcy. O fluxo em solo não-saturado segue a Lei de Darcy de uma maneira semelhante ao fluxo em solo saturado e é proporcional ao gradiente hidráulico e ao Coeficiente de Permeabilidade (GEOSTUDIO, 2002).

De acordo com cenários de análise de estabilidade, às linhas de fluxo diferem quanto às condições de contorno. Nos cenários de estabilidade global, com ação sísmica e com tráfego na crista se considerou o NA máx. máx. de projeto como condição de contorno de montante (208,4 m) e o nível d'água cotado pela equipe de topografia durante a Inspeção de Segurança Especial (ISE) como condição a jusante (192,8 m), sendo as linhas de fluxo nesses cenários mostrada na Figura 65. De uma maneira geral, observa-se a tendência das linhas de fluxo encaminhando as vazões percoladas pelo filtro horizontal, com a saída junto ao dreno de pé. As isolinhas de carga total demonstram que as pressões neutras decrescem à medida que se afastam do talude de montante.

Efetuu-se também a análise da rede de fluxo da segurança da barragem simulando uma falha do sistema de drenagem interna (cenário de estabilidade com filtros colmatados) devido a sua própria inexistência ou sua colmatação ao longo do tempo. O procedimento inicial foi reduzir os parâmetros de permeabilidade do filtro interno, tornando-os equivalentes à permeabilidade do próprio material argiloso vedante que compõe o maciço. A Figura 66 apresenta a nova configuração das redes de fluxo para tal cenário, o qual resultou no afloramento da linha d'água freática no paramento de jusante, o que poderia indicar alguma surgência, o que na prática não ocorre, não tendo sido averiguado na ISE. Ainda que seja um cenário menos provável, dadas as condições encontradas *in situ*, esta hipótese também é objeto de análise quanto às implicações na estabilidade do maciço com a hipótese do paramento de jusante saturado.

Figura 65. Resultado da modelagem da rede de fluxo para seção-tipo B-B.

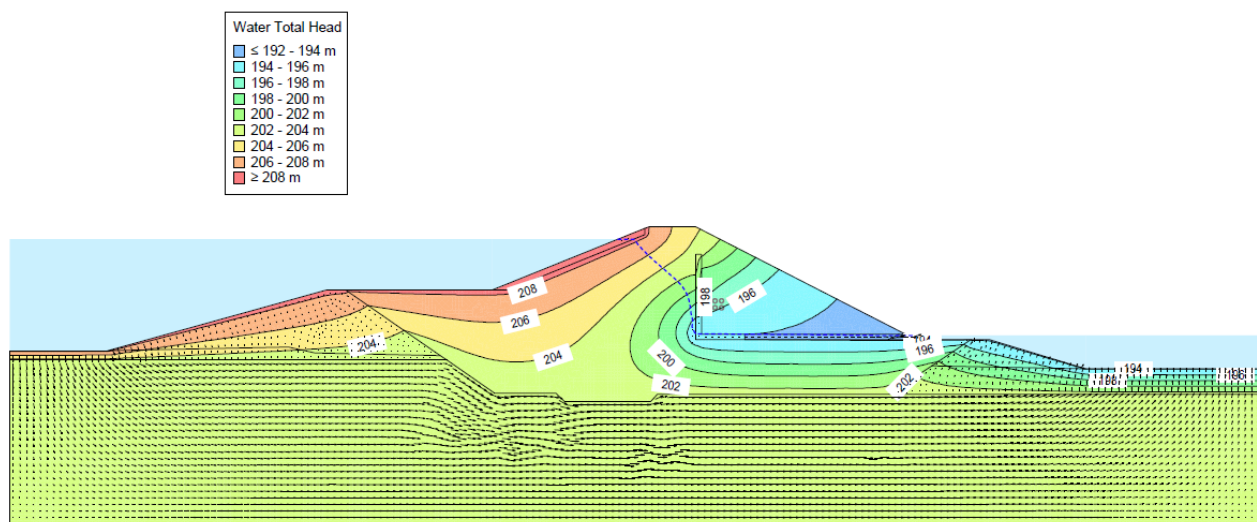
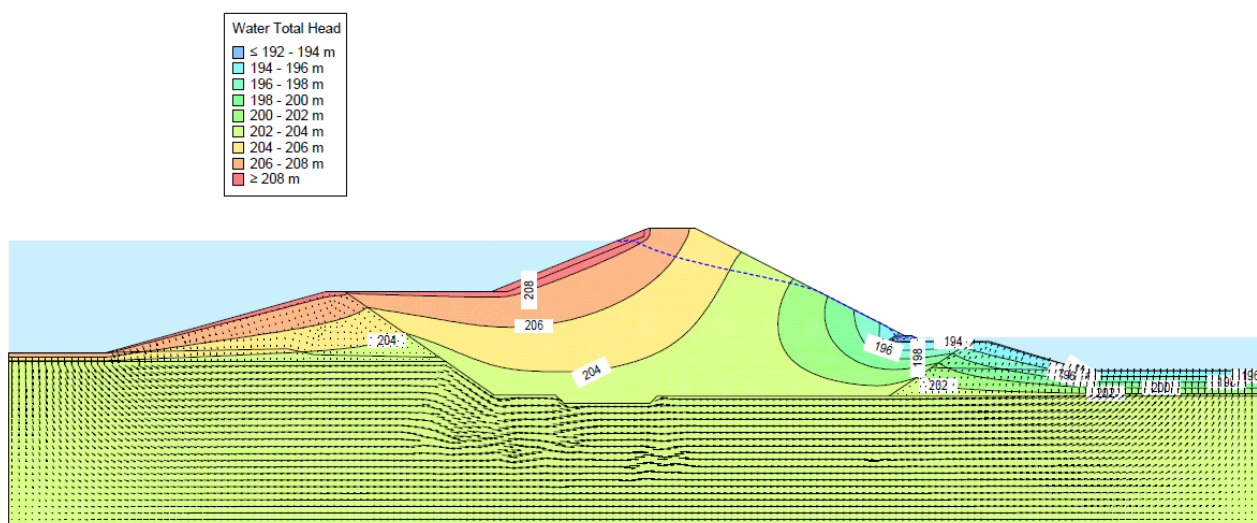
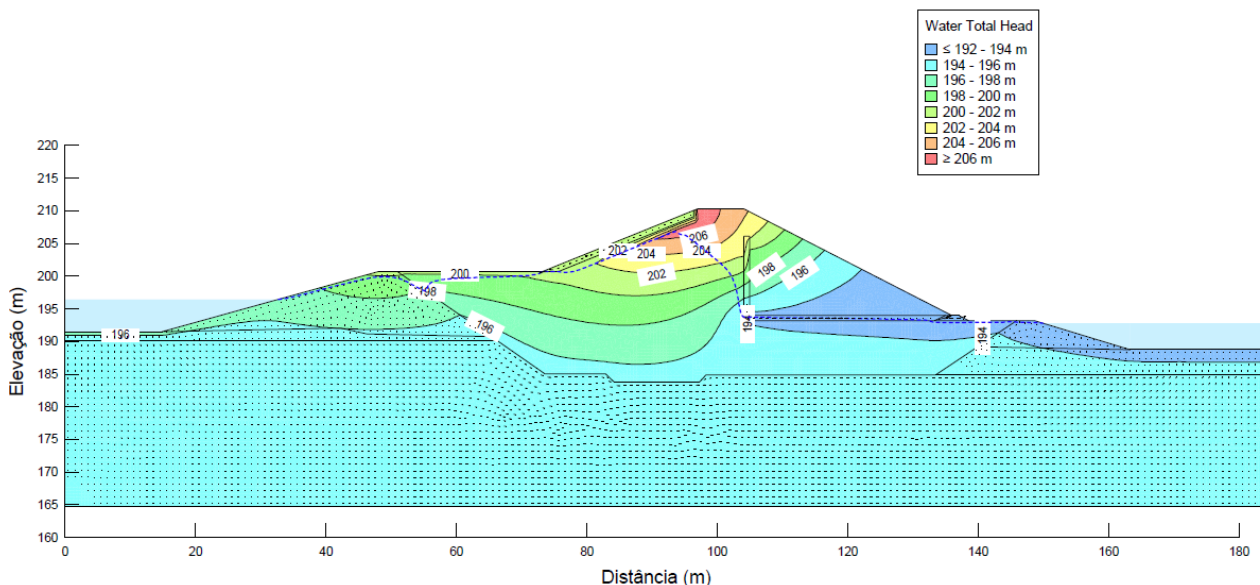


Figura 66. Rede de fluxo para simulação de filtros colmatados – Seção B-B.



Por fim, foi realizada a modelagem da rede de fluxo em face do rebaixamento rápido do reservatório, cujo resultado é premissa da análise de estabilidade do talude de montante do maciço nesse cenário. Para tanto, foi realizado o cálculo da velocidade com que o nível d'água do reservatório decresce, uma vez realizada a abertura total das comportas, sendo que as premissas de cálculo são advindas do memorial de cálculo do relatório de análise das estruturas hidráulicas (REL-209-2020-HID-11-00). A Figura 67 apresenta o resultado do último passo de tempo, decorrido 1 dia de esvaziamento do reservatório, em que o nível chega a 196,4 m enquanto a linha freática interna do maciço, não acompanha o rebaixamento de forma instantânea, dadas as condições de permeabilidade do maciço. Esse fenômeno incorre em um cenário crítico, no qual o empuxo estabilizante da água do reservatório é retirado e o maciço encontra-se na condição saturada, com maior peso específico e menor resistência mecânica.

Figura 67. Resultado da modelagem da rede de fluxo no cenário de rebaixamento rápido do NR para seção-tipo B-B.



15.2. ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Após a definição de todos os dados de entrada e condições de comportamento das linhas de fluxo no interior do maciço e fundação, foi possível realizar as análises de estabilidade do maciço, resultando nos fatores de segurança para cada um dos cenários simulados. Os fatores de segurança mínimos para cada cenários foram selecionados com base na NBR 13.028 (ABNT, 2017) e nas sugestões de Cruz (1996), posto que a ABNT não apresenta em seu catálogo normas que façam referência a barragens de acumulação de água. Pode-se dizer que os fatores mínimos de referências têm amplo emprego e aceitação no meio técnico quando se trata de análises de estabilidade de barragens de acumulação de água.

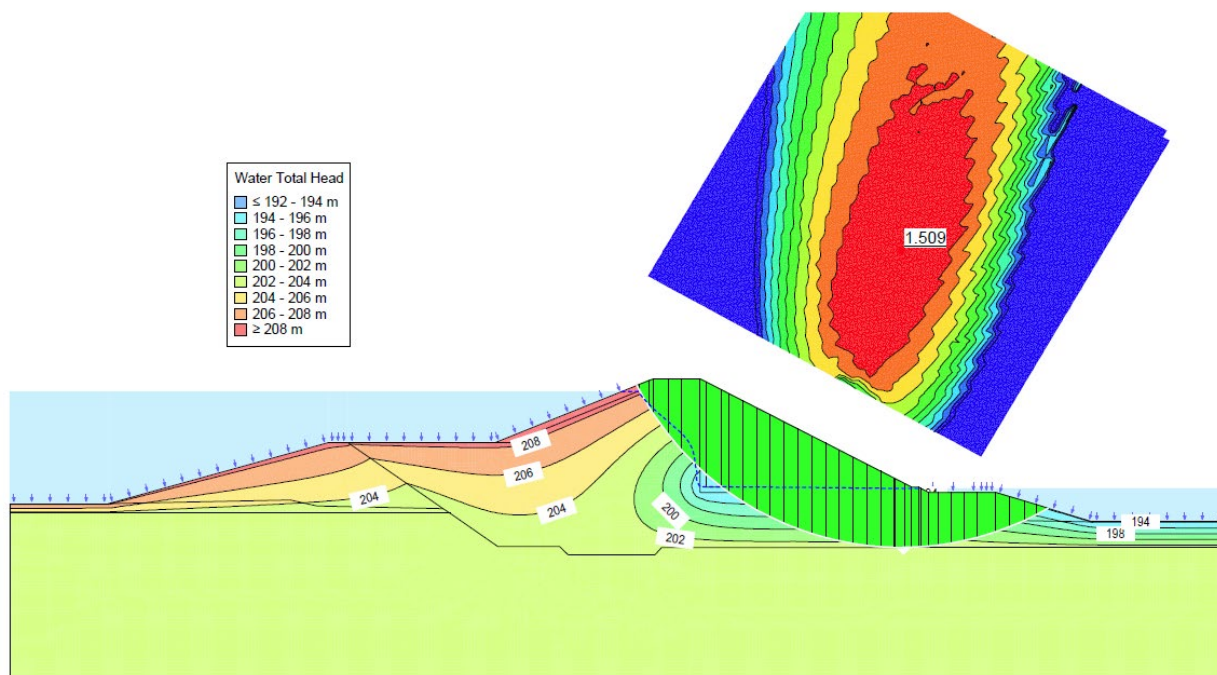
As análises de estabilidade foram efetuadas utilizando o *software SLOPE/W-2018*. O módulo *SLOPE/W* é um dos *softwares* mais modernos, reconhecidos e utilizados no mercado de aplicações voltadas para a análise de estabilidade de taludes ou aterros, fundamentando-se em análises de equilíbrio limite e as suas formulações, que se baseiam, principalmente, no método das lamelas. Tais métodos foram desenvolvidos em meados do século XX, e desde então vêm sendo usados para avaliações de estabilidade. Neste sentido, para as análises de estabilidade da Barragem, foram escolhidos dois métodos consagrados no meio técnico: Método de Spencer (1967) e Morgenstern & Price (1965).

Nos cenários simulados se utilizou o NA Máximo Maximorum de projeto, igual a 208,40 m. A seguir são mostrados os resultados das análises de estabilidade empreendidas, apresentando-se a imagem obtida do *software SLOPE/W 2018* para o método que conduziu as menor fator de segurança. A pormenorização dos cenários pode ser consultada no relatório REL-209-2020-GEO-12-00.

15.2.1. Estabilidade Operacional Excepcional – NA Máximo Maximorum.

Neste cenário foram avaliadas as condições atuais de estabilidade global da Barragem II com Nível do Reservatório (NR) na elevação de 208,40 m, equivalente ao NA máx. máx. de projeto. Foram utilizados os parâmetros do aterro na condição drenada, descontada a poropressão, consequentemente, considerando-se tensões efetivas, e parâmetros resistivos efetivos. O FS obtido foi de 1,51 (Figura 68), atendendo ao FS mínimo de 1,50 recomendado na literatura técnica.

Figura 68. Análise de estabilidade para NR Maximorum – Seção B-B.

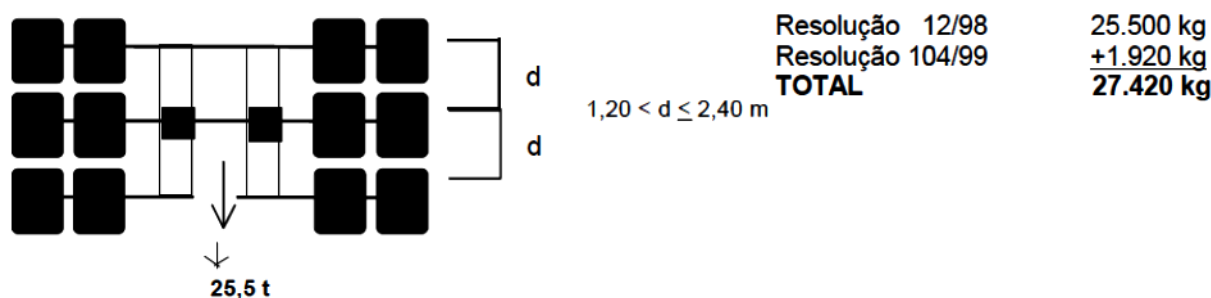


15.2.2. Estabilidade Operacional Excepcional – NA Máximo Maximorum com Tráfego sobre a crista

Neste cenário as análises de estabilidade globais para a seção tipo considerando consideraram a simulação de carregamentos impostos por regime permanente de operação da barragem e pela influência de tráfego intermitente em sua crista. Prevê-se eventual fluxo de veículos pesados na crista da barragem, como caminhões Munck para a realização de eventuais manutenções e reparos de equipamentos mecânicos.

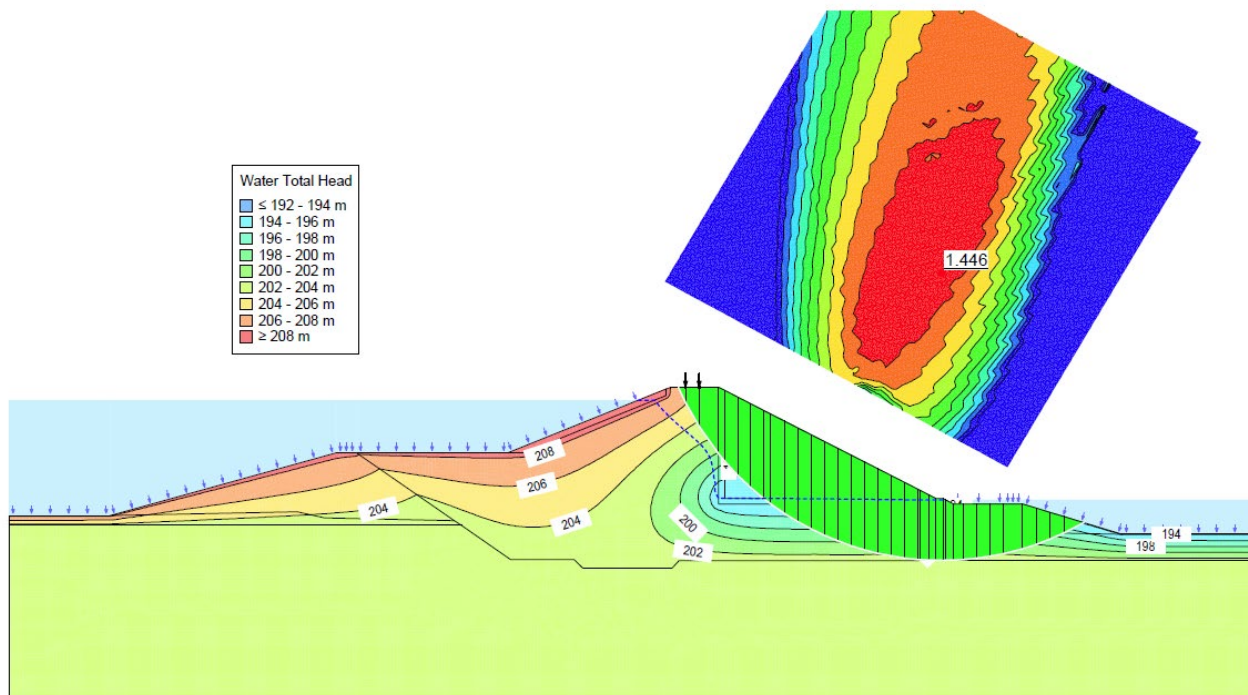
O tipo de carga/veículo norteia as condições de carregamento assumidas referem-se a um veículo com eixo tandem triplo, que constituem a configuração com maior carga possível por eixo (Figura 69), segundo as diretrizes do CONTRAN. Considerando a crista com 7,00 m de largura, e que o ponto de aplicação de cada conjunto tandem triplo de pneus é distanciados de 1,80 m, divide-se os 275,0 kN em duas cargas concentradas de 137,5 kN e aloca-se as duas cargas pontuais na região central da plataforma de rolamento.

Figura 69. Carga máxima para conjunto 3 eixos em tandem, segundo CONTRAN.



A consideração do efeito dinâmico do tráfego na barragem teve uma abordagem simplificada, visto que, a frequência de veículos pesados é casual. Desta forma, considerou-se uma aceleração vertical de 0,03.g por ocasião das análises de estabilidade da seção tipo. O FS obtido foi de 1,44 (Figura 70), atendendo ao FS mínimo de 1,30 da literatura técnica.

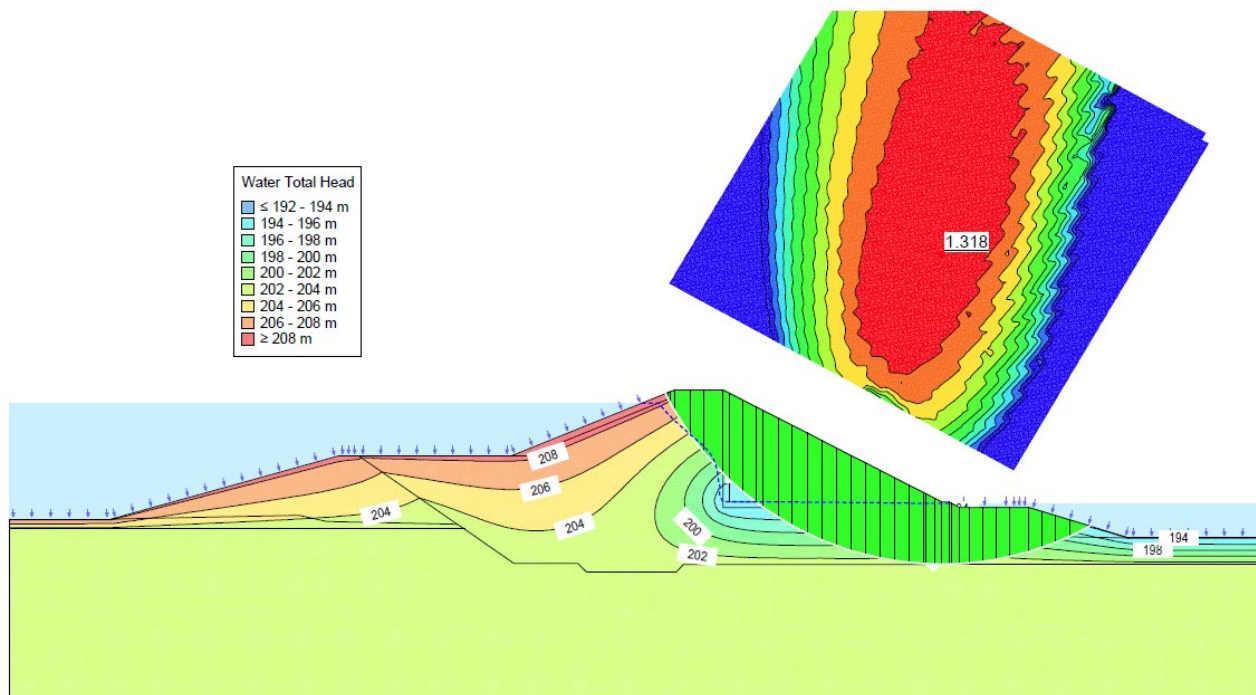
Figura 70. Análise de estabilidade para NA máx. máx. e tráfego na crista – Seção B-B.



15.2.3. Estabilidade Operacional Excepcional – NA Máximo Maximorum e Ação Sísmica

Utilizando-se as referências estudadas para ações sísmicas de diferentes autores, indicadas no documento REL-209-2020-GEO-09-00 de Revisão dos Estudos Geológicos e Sismológicos, foram adotados os coeficientes sísmicos tradicionalmente utilizados nas análises de estabilidade em locais sem sismicidade elevada, iguais a 0,05.g na componente horizontal e 0,03.g na vertical (Eletrobras, 2003). O FS obtido foi de 1,32 (Figura 71), valor superior ao FS mínimo de 1,10 recomendado da literatura técnica.

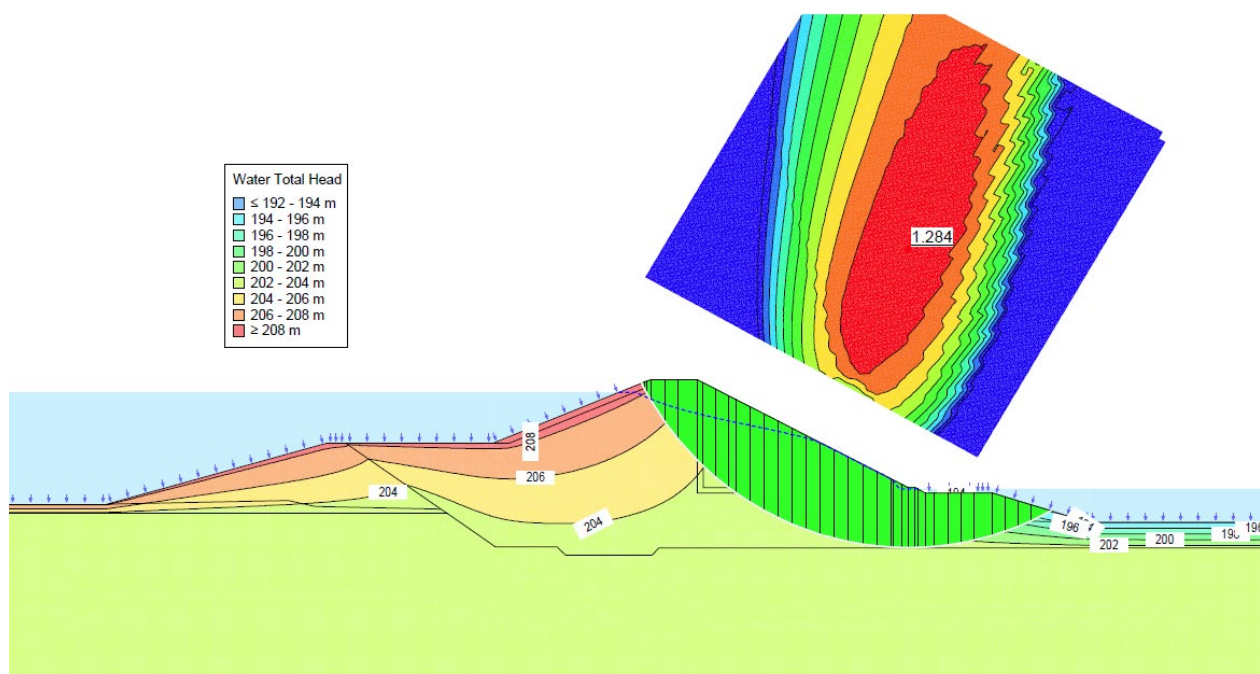
Figura 71. Análise de estabilidade para NR Maximorum e ação sísmica – Seção B-B.



15.2.4. Estabilidade Operacional Excepcional – NA Máximo Maximorum e Filtros Colmatados

Neste cenário foi efetuada a análise da segurança da Barragem II do Arroio Candiota, na seção tipo B-B (região central e mais alta da barragem), simulando uma falha do sistema de drenagem interna. O procedimento inicial foi reduzir os parâmetros de permeabilidade do filtro interno, tornando-os equivalentes à permeabilidade do próprio material argiloso vedante que compõe o maciço. O FS obtido foi de 1,28 (Figura 72), valor inferior ao FS mínimo de 1,30 recomendado da literatura técnica.

Figura 72. Análise de estabilidade para NR Maximorum e filtros colmatados – Seção B-B.



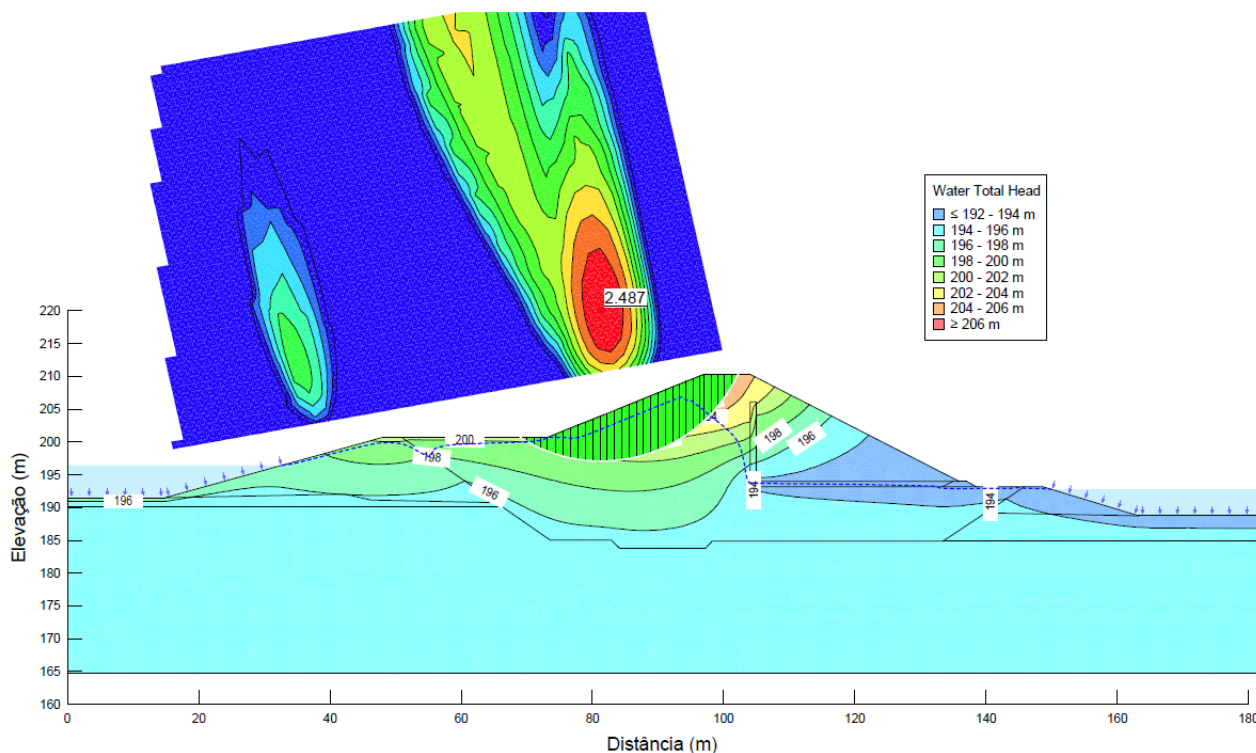
15.2.5. Estabilidade Operacional Excepcional – NA Máximo Normal e Rebaixamento Rápido.

A condição de rebaixamento rápido do reservatório é um cenário crítico, de ocorrência prevista durante a operação normal da barragem, ou durante um incidente, que deve ser considerada durante a sua vida útil. O Manual do Empreendedor da ANA, em seu volume V, *Diretrizes para a Elaboração de Projeto de Barragens* (2016) inclui este caso específico dentre os cenários a serem analisados.

Quando os materiais dos aterros têm permeabilidades baixas, um rebaixamento lento do reservatório pode não conduzir a uma apreciável dissipação das poropressões instaladas, pelo que, para efeitos de cálculo, se pode considerar como se fosse um rebaixamento rápido. Tal rebaixamento origina, em especial nos solos de baixa permeabilidade, uma complexa combinação de carregamento: redução das tensões principais com aumento da diferença entre elas, isto é, aumento da tensão desviatória, rotação da direção das tensões principais e o estabelecimento de condições transientes de fluxo gravitacional de água.

A envoltória de resistências foi estabelecida a partir dos resultados dos ensaios triaxiais CIU em termos de tensões totais, ou seja, não drenada o que incorre numa diminuição dos parâmetros de resistência ao cisalhamento. O FS obtido foi de 2,49 (Figura 73), valor superior ao FS mínimo de 1,30 recomendado da literatura técnica.

Figura 73. Análise de estabilidade a montante em condições de rebaixamento rápido – Seção B-B.



15.2.6. Diagnóstico acerca das análises de estabilidade

Os resultados das retroanálises de estabilidade realizadas demonstram que, para se assegurar a estabilidade do maciço, os parâmetros de coesão e ângulo de atrito do maciço devem ser superiores à 37 kPa e 24° respectivamente, trabalhando de forma conjunta, com a ensecadeira e o terreno natural. Pelo fato de o maciço ter sua estabilidade assistida pela existência da ensecadeira, ambos devem resistir conjuntamente ao cisalhamento, sendo assim, devem ter os seus parâmetros geomecânicos estimados com precisão. Ainda que os valores utilizados nas simulações se encontrem nas faixas estimadas durante as etapas de projeto, como é o caso da coesão em 37 kPa, inferior à 85 kPa (valor mínimo de projeto das amostras das jazidas), ainda é considerado um valor pouco conservador quando analisado em contraste aos valores da bibliografia.

Quanto ao ângulo de atrito, o valor estimado para o maciço se encontra na faixa superior das amostras obtidas das jazidas (entre 19,5° e 25°), dentro da faixa de valores encontrados na bibliografia. Outro parâmetro estimado, divergente do encontrado nos ensaios na jazida é o peso específico do maciço, que de forma conservadora foi arbitrado em 19 kN/m³, em contraste ao valor máximo de 17 kN/m³ (valor máximo de projeto).

Como recapitulado no documento REL-2020-209-GEO-09-00, os parâmetros utilizados na etapa de projeto (básico), podem ser considerados pouco conservadores. Resgatando também a memória de cálculo de projeto, para traçar uma linha de base para os estudos ora realizados, tem-se fatores de segurança extremamente elevados (Figura 74), quando utilizados os parâmetros da documentação de projeto.

Figura 74. Fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade de projeto (CEEE, 1971)

Material	Final de Construção		Regime Perma. de operação		Rebaixamento Rápido Montan.
	Montan.	Jusan.	Montan.	Jusan.	
M	4.3	4.4	7.4	4.5	3.5
K	6.7	5.3	13.3	6.0	4.6
E	2.7	3.4	7.2	3.6	3.2
C	3.7	2.5	7.0	3.5	3.1

Em contraste, os cenários críticos modelados, sob hipóteses conservadoras, como a colmatação dos filtros verticais e horizontais e a inexistência da cortina de injeções – não atendem às exigências normatizadas dos padrões de segurança no limite. O Quadro 67 resume os resultados obtidos durante as simulações efetuadas.

Quadro 67. Resumo dos FSs obtidos nos diferentes cenários

Cenário	Limite Inferior do Fator de Segurança	Fator de Segurança
Estabilidade global para o NA máx. máx. de projeto	1,50	1,51
Estabilidade Para o Nível máx. máx. do Reservatório com Tráfego na Crista	1,30	1,45
Estabilidade para o Nível máx. máx. do Reservatório e Ação Sísmica	1,10	1,32
Estabilidade para o Nível Máximo Operacional do Reservatório e Filtros Colmatados	1,30	1,28
Estabilidade Frente a Condição de Rebaixamento Rápido do NR	1,30	2,49

Do único cenário que está abaixo do limite inferior, pode-se restar seguro de que é uma situação extremamente crítica, em que poderia ser observada a surgência de água no paramento de jusante do maciço, **o que não é o caso averiguado durante a ISE**, ou seja, mesmo que os filtros não estejam operando na condição de projeto e tenha havido qualquer colmatação, não ocorreu da forma extrema a qual foi parametrizada. O que deve ser averiguado é o cenário real atual que se encontra a barragem, o que deve ser feito através de ensaios e sondagens, além da instalação da instrumentação nova necessária, sendo ele, um cenário intermediário entre a situação prevista em projeto e a situação crítica de filtros colmatados supracitada.

As recomendações listadas no documento de referência (REL-209-2020-GEO-12-00) e congregadas no Capítulo 17 deste relatório final, dão-se no sentido aprimorar as investigações geotécnicas para obter dados assertivos dos parâmetros geomecânicos dos materiais constituintes do maciço e fundação, bem como do comportamento das linhas de fluxo e condições dos filtros internos da barragem, de forma a subsidiar as informações necessárias para novas análises de estabilidade.

16. CONCLUSÕES

O presente documento consolida as informações, análises, inferências e recomendações obtidas a partir da realização dos estudos e serviços de Revisão Periódica de Segurança da Barragem II do Arroio Candiota, regidos pelas especificações técnicas do instrumento licitatório objeto do Contrato 4500045374.

A elaboração dos referidos estudos se deu a partir do conjunto de documentação técnica disponibilizada pelo empreendedor e pela realização de inspeção especial de campo nas instalações da barragem, por equipe multidisciplinar. **Constitui-se um importante fator limitante, conforme exaustivamente apontado nos relatórios confeccionados, a inópia de dados e informações atualizadas da barragem que pudessem ser empregadas nos trabalhos.** Sumariamente, o acervo técnico da barragem contempla plantas, croquis e memoriais à título de anteprojeto e projeto básico, sendo essas informações replicadas no PSB e PAE. Não se constatou a existência memoriais e projetos executivos ou *As Built*, registros das obras e controle tecnológico de construção da barragem, tampouco investigações geológico-técnicas efetuadas no maciço e fundação das estruturas da barragem durante ou após a sua construção. Além do mais, os monitoramentos e dados da instrumentação de auscultação são incipientes frente ao período de operação da barragem.

Deve restar clara, portanto, que as conclusões dos estudos realizados são limitadas à qualidade e quantidade das informações diretamente fornecidas pelo empreendedor. Em virtude do exposto, a equipe técnica, por vezes, teve que adotar algumas premissas, explicitadas em cada estudo, recorrendo a técnicas de retroanálise, coleta de informações a partir de revisão bibliográfica da literatura técnica pertinente e de dados secundários disponíveis em portais de consulta pública, com vistas a contornar a escassez de informações diretas e propiciar a materialização dos produtos previstos.

Ainda assim, face ao externado, não foi possível atender integralmente a todos os quesitos previstos nas especificações técnicas da Contratante e emitir pareceres conclusivos atestando a estabilidade e integralidade da barragem por parâmetros e indicadores quantitativos. Visto que a barragem se encontra em operação a mais de 50 anos, sem relatos de incidentes emergenciais e risco imediato à segurança da barragem, bem como pelas condições constatadas visualmente em campo, pode-se inferir, a título de uma opinião técnica qualitativa, estar a barragem, por hora, em condições satisfatórias de operação e segurança, ressalvando-se fortemente a necessidade de coleta de dados e análises complementares que possam corroborar numericamente o atendimento aos fatores de segurança mínimo requeridos.

Faz-se relevante o atendimento as demandas de serviços de manutenção, investigações e adequações processuais recomendados no Capítulo 17, conforme priorização e horizonte temporal elencados, almejando-se o subsídio dos elementos informativos inequívocos de caracterização do empreendimento (parâmetros geométricos, geomecânicas, hidrogeotécnicos, fisiográficos, etc.), a melhoria das condições operacionais e de segurança da barragem, bem como salvaguarda da população potencialmente afetada à jusante e dos trabalhadores envolvidos nas atividades rotineiras da barragem.

Cabe também o apontamento de que os serviços procedidos dizem respeito ao primeiro ciclo de Revisão Periódica da Barragem II do Arroio Candiota, constituindo-se, portanto, os produtos entregues como balizadores e fonte de consulta para estudos e intervenções posteriores no que se refere à segurança e operação da barragem.

Nos itens abaixo, expõe-se as conclusões expedidas a partir da elaboração de cada um dos relatórios/estudos empreendidos durante a Revisão Periódica de Segurança da Barragem II do Arroio Candiota.

16.1. REVISÃO DA DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO E AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE ENGENHARIA

Verificou-se significativa quantidade de não conformidades no atendimento de requisitos obrigatórios da documentação técnica da barragem, discordando das recomendações e boas práticas abordadas nos Manuais do Empreendedor Sobre Segurança de Barragens da ANA. Visto que o conjunto de documentação técnica é insumo basilar para realização de estudos e avaliações inerentes à operação e segurança da barragem, sugere-se, portanto, o complemento e/ou retificação das não conformidades apontadas, justificando-se devidamente os casos de impossibilidade de atendimento aos requisitos obrigatório da legislação de referência.

Cabe reiterar que o escopo dos estudos e atividades objetos do contrato 4500045374, no âmbito da Revisão Periódica de Segurança da Barragem II, contemplaram a materialização de diversos documentos e informes que sanam parte das não conformidades indicadas no conjunto da documentação técnica do PSB da Barragem, de forma que devem ser incorporados, após a sua aprovação, ao acervo técnico de documentos da barragem e promovida a revisão dos volumes do PSB, compatibilizando as informações da presente Revisão Periódica de Segurança.

Por sua vez, as soluções de engenharia previstas nos projetos, memoriais e demais documentos técnicos fornecidos pelo empreendedor, foram analisadas sob a ótica do atendimento aos quesitos de atendimento qualitativo das recomendações técnicas vigentes, com as devidas ressalvas e ponderações pertinentes ao contexto existente na época de elaboração do projeto. Foi possível concluir que, de maneira geral, as soluções de engenharia especificadas nos projetos da Barragem II do Arroio Candiota vão de encontro aos principais requisitos previstos nas recomendações técnicas vigente na literatura analisada.

Em relação aos parâmetros geotécnicos e análises de estabilidade da época de projeto, considera-se que foram utilizados valores conservadores e obtidos fatores de segurança elevados, em virtude das simplificações e limitações dos métodos empregados. Ressalta-se que as análises disponibilizadas são da fase de anteprojeto ou de projeto básico. O relatório REL-209-2020-ASE-04-01, complementado pelo relatório REL-209-2020-GEO-12-01, traz um comparativo entre os parâmetros geotécnicos e métodos de análises de estabilidade utilizados no projeto inicial e os adotados no contexto desta Revisão Periódica de Segurança. Visto que não foram fornecidos registros de intervenções posteriores à época de projeto, não foi possível tecer comentários acerca de eventuais técnicas e procedimentos de manutenção ou adequações efetuados na barragem.

16.2. AVALIAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO

Foi verificada divergência entre o projeto e a instrumentação existente em campo, de maneira que não foram localizados todos os instrumentos indicados em projeto. Dentre os instrumentos localizados, os mesmos encontravam-se íntegros e sem obstruções (conforme testes de vida), com exceção do PZ-02. A identificação dos instrumentos loco deve ser aprimorada, para evitar possíveis erros de leitura e nomenclatura.

A carência de dados (iniciadas leituras somente em janeiro de 2020) impossibilitou qualquer análise conclusiva ou correlações assertivas entre as variáveis, como pluviometria, níveis de reservatório, poropressões e níveis de água do maciço, assim como, verificar a estacionariedade, consistência e/ou comportamento de longo prazo das séries. De forma preliminar, os indícios são de que os piezômetros se encontram com leituras estabilizadas e sem anomalias, bem como o MNA-06. O MNA-05 demanda investigação aprofundada, após realização de serviços de limpeza e novo teste de vida, dado o caráter oscilatório das leituras fornecidas pelo empreendedor nesse instrumento.

Sendo assim, de forma geral não foi possível avaliar as subpressões hidrostáticas, tampouco uma avaliação dos níveis freáticos na barragem de terra. Referente a estrutura do vertedouro, não consta nenhum

instrumento instalado. Quanto aos marcos superficiais, não foram fornecidos os dados de leituras, desde a instalação até os dias atuais.

Para a completa análise do comportamento de todas as estruturas que compõe o barramento (fundação, tapete drenante, filtro vertical, maciço compactado e vertedouro), é imprescindível a instalação de novos instrumentos (PZA's, MNA's, MV, MS) nas seções de maior relevância, do ponto de vista da criticidade quanto à estabilidade e ocorrência de situações adversas à segurança da barragem. É apresentada no relatório REL-209-2020-RDI-02-00 a concepção de um projeto de instrumentação complementar, com as devidas especificações técnicas, procedimentos de leitura, plano da manutenção e carta de risco associada aos níveis de controle da instrumentação.

16.3. INSPEÇÃO ESPECIAL DE SEGURANÇA

A inspeção foi feita por equipe multidisciplinar, segundo o Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragens (ANA, 2016) e seguindo os demais preceitos e boas práticas relativas às inspeções de segurança de barragens vigentes no meio técnico. Conforme discorrido ao longo do presente capítulo e detalhadamente apresentado no relatório REL-209-2020-HID-03-00, foram constatadas diversas anomalias nas instalações da barragem, em significativa quantidade se comparadas aos relatórios de inspeções regulares pretéritos disponibilizados pelo empreendedor.

O entendimento da equipe técnica da Vieira e Fernandes Vieira é de que, considerando as anomalias detectadas durante a inspeção visual detalhada, há anomalias que devem ser monitoradas quanto à sua evolução e outras sob as quais devem ser tomadas ações corretivas, com vistas a evitar a progressão das mesmas e evitar potenciais situações de risco mais elevado. Não obstante, não se elencaram anomalias que indiquem situação de risco iminente à barragem, quer seja em relação a sua segurança ou a sua operação. Uma vez que houve anomalias classificadas com NPA 1 (Atenção), conforme Art. 11 da Res. 236/2017, e de forma a manter a concordância com o parágrafo único do Art. 12 da mesma resolução, o **NPGB a ser adotado é de ATENÇÃO**, pois se entende que o efeito conjugado das anomalias não compromete a segurança da barragem no curto prazo, porém as circunstâncias observadas devem ser monitoradas quanto à evolução e sanadas conforme as recomendações emitidas.

16.4. REVISÃO DO PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Há necessidade de atualização dos planos de manutenção e, principalmente, de alinhar os planos atuais com a proposta inicial de projeto de operação da Barragem II e suas estruturas associadas. O relatório das ações de operação e manutenção devem ser registradas de forma clara e padronizada, de forma a compor uma série histórica de dados, que represente a realidade da estrutura. O sistema de comunicação deve ser otimizado, e o sistema de alerta deve ser implementado, aperfeiçoando o sistema de segurança local.

16.5. REVISÃO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS

O estudo de amortecimento das cheias no reservatório forneceu a capacidade do reservatório em amortecer os hidrogramas de projeto para diferentes tempos de retorno. Estes resultados foram utilizados para a verificação da cota da crista da barragem, considerando-se a borda livre necessária para absorver as ondas geradas pelo vento no reservatório, e concluir se o vertedouro, apresenta segurança hidráulica para suportar eventos de cheia, conforme diretrizes vigentes, assim como o canal rápido e a bacia de dissipação. Preliminarmente, verificou-se que a cheia com 1.000 anos de tempo de recorrência atinge um NA de 208,89 m, superior ao verificado em projeto (208,47 m), porém ainda inferior a cota da crista da barragem (210,0 m).

O balanço hídrico diário calculado com 19 anos de dados de vazão, precipitação e evaporação e a curva cota-área-volume do reservatório, levantada em projeto, mostrou que o reservatório tem capacidade de

regularizar, com risco de não atendimento inferior à 4%, as demandas definidas em projeto e outorgas subsequentes.

Em termos de segurança para o barramento, as regras de operação vigentes foram consideradas apropriadas, no entanto, não pode-se verificar se as mesmas garantem a segurança das populações e benfeitorias existentes a montante do reservatório, uma vez que não se disponibiliza de um cadastramento de núcleos urbanos e benfeitorias, com informação altimétrica, e nem de dados de variação dos níveis no reservatório ao longo do tempo para definir o potencial de inundação de possíveis áreas ocupadas abaixo da cota 210,0 m.

16.6. ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICO

Os dados, mapas, extensão de área inundada e cálculos de tempo de chegada de onda de cheia calculados a partir do momento do início da ruptura da barragem se constituem de instrumentos importantes para consolidação do Plano de Ação Emergencial (PAE) e de apoio às autoridades de Defesa Civil na tomada de providências de contingência.

Foram analisados três cenários envolvendo a barragem (cenário extremo de ruptura, cenário provável de ruptura e cenário de não ruptura e operação extrema) e três cenários envolvendo a formação de cheias naturais (para 100, 1.000 e 10.000 anos de TR) considerando a inexistência da barragem. Dentre todos esses cenários entende-se que o cenário extremo foi aquele que resultou em maiores profundidades no vale de jusante, justamente por somar um volume de uma cheia decamilenar ao volume do reservatório. Por outro lado, como a passagem da cheia decamilenar é gradual, o vale de jusante acaba sendo afetado de forma mais lenta do que o cenário de ruptura em cenário provável, para o qual não foi considerado um evento de cheia relevante afluente ao reservatório. Neste sentido, considerando-se o tempo de chegada de onda, observou-se que o cenário de ruptura mais provável resulta em tempos mais conservadores (ou seja, a partir do instante do início do rompimento, a onda de cheia chega num menor tempo em trechos de jusante). Os resultados obtidos permitem estimar um tempo de deslocamento da ordem de 09 minutos para a onda de cheia atingir as proximidades das primeiras áreas potencialmente vulneráveis a jusante (APV 2, 3 e 4 – barragem de nível, parte da mancha urbana de Candiota e a estação de tratamento de água) estando, portanto, dentro da zona de autossalvamento, onde há elevado risco em caso de rompimento pelo pouco tempo de reação. O tempo estimado é de 15 horas para a onda de chegar até o mais distante simulado (70km), na foz do Arroio Candiota com o Rio Jaguarão.

Em se tratando dos limites das manchas de inundação obtidas, ressaltam-se as manchas de inundação para o cenário de ruptura extremo e o cenário de ruptura em cenário provável. Percebe-se, que para os três cenários simulados, na região 01, a cota máxima de água supera as cotas associadas à barragem de nível da Barragem I, a jusante da Barragem II, bem como da estação de tratamento de água (APV 2 e 3). Destaca-se que nos cenários de operação e ruptura extremos ocorre a inundação de parte da mancha urbana caracterizada pela sigla APV 4. Mais a jusante, a APV 7 (ponte) também é atingida nos três cenários simulados. No mapa que representa a região 2, identifica-se que nesta porção, mais a jusante, não há regiões vulneráveis que são atingidas, apenas os reservatórios 1 e 3 e apenas no cenário de ruptura extrema. Destaca-se aqui que estes pequenos reservatórios seriam atingidos de jusante para montante, não havendo aumento no volume de água acumulado. Entretanto, os reservatórios foram apresentados no estudo porque para algumas estruturas menores a elevação do nível de jusante pode apresentar riscos à estrutura.

Comparativamente, nos mapas que apresentam as manchas de inundação para a propagação das ondas de cheia naturais para tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos é possível identificar que nas cheias de 1.000 e 10.000 anos também ocorre a inundação, da estação de tratamento de água (APV 2 e 3), de parte da mancha urbana caracterizada pela APV 4, e da APV 7 (ponte). Ainda, os reservatórios 1 e 3 também seriam atingidos apenas para TR 10.000 anos.

Ressalta-se que as simulações realizadas mostraram que uma possível ruptura da Barragem II da Usina de Candiota tem potencial para chegar de forma consistente até a confluência do Arroio Candiota com o Rio Jaguarão, caso não haja interferência com outros barramentos. A partir desse ponto, por outro lado, entende-se que a mancha de inundação calculada se assemelha a manchas inundações associadas a processos naturais com baixo tempo de recorrência, como uma cheia local de 100 anos de TR.

16.7. REVISÃO DOS ESTUDOS GEOLÓGICOS E SISMOLÓGICOS

Pode-se depreender, a partir do conteúdo consubstanciado nos estudos geológicos e sismológicos, que há significativa carência de dados e informações que possibilitassem o pleno atendimento dos requisitos de atualização dos estudos geológicos, previstos nas especificações técnicas da Contratante, e a emissão de um parecer conclusivo acerca da aferição dos parâmetros geotécnicos de solo e rocha dos materiais constituintes da barragem (aterro, filtros, fundação).

Os subsídios existentes permitiram apenas uma análise crítica das características geotécnicas e geológicas da época de projeto, bem como a determinação de modelos a serem utilizados nas análises de estabilidade com base nas premissas adotadas no estudo. Fazem-se ausentes registros, documentação técnica e investigações geotécnicas de campo e laboratoriais recentes e efetuadas após a construção da barragem, que possam dar lastro a análises mais assertivas e condizentes com as condições atuais da barragem.

Foi possível, contudo, a partir do levantamento topográfico cadastral, confrontar a conformação atual da geometria do barramento frente ao especificado nos projetos originais, averiguando-se não haver discordâncias significativas. A caracterização geológica regional também pode ser realizada através de revisão bibliográfica da literatura técnica disponível.

Quanto aos estudos sismológicos, verifica-se que a região na qual a Barragem II do Arroio Candiota se encontra não está sujeita, ao menos até o presente momento, conforme dados históricos coletados, a atividade sísmica relevante, de forma que podem ser consideradas as sugestões simplificadas da literatura técnica para determinação dos parâmetros de aceleração sísmica para uso nas análises de estabilidade das estruturas da barragem.

16.8. AVALIAÇÃO DA FUNDAÇÃO E DO RESERVATÓRIO

Novamente, percebeu-se notória escassez de informações do período em que a barragem se encontra em operação que possam subsidiar análises conclusivas quanto a verificação das atuais condições geomecânicas e hidráulicas da fundação da barragem, uma vez que a documentação técnica existente é majoritariamente composta de croquis, plantas e memoriais da fase de projeto.

Do ponto de vista conceitual, as soluções previstas em projeto vão de encontro às boas práticas e critérios técnicos vigentes à época e que perduram até os dias atuais, restando ausentes registros que atestem as mesmas terem sido executadas em concordância com os projetos. Ainda que não tenha sido fornecido o histórico de medidas dos marcos superficiais de alinhamento, na inspeção de campo realizada não foram constatados recalques, desalinhamentos, trincas ou afundamento que possam estar relacionados à movimentos da fundação.

Sobre a percolação d'água pela fundação e fenômenos de erosão interna na barragem, fica impossibilitada a emissão de parecer conclusivo sobre a matéria, uma vez que não há investigações geotécnicas do interior do maciço, não foram constatados dispositivos (nem dados fornecidos) para mensuração da vazão percolada ao pé da barragem e presença de material fino carregado. No entanto, apesar da baixa quantidade de dados de monitoramento e dos mesmos corresponderem a um horizonte de tempo muito recente, as leituras dos piezômetros instalados na fundação da barragem sugerem estarem as subpressões estabilizadas e vazões adequadamente controlados pelo sistema de filtros internos.

Quanto ao reservatório, não foram verificadas situações que impliquem em risco imediato de segurança ou condições adversas operacionais, tais como riscos de deslizamentos de maciços de terra, locais com acentuados processos erosivos, ocupações irregulares ou mudanças significativas nas características físicas da bacia de acumulação. Devido à ausência de levantamentos batimétricos não foi possível avaliar ou quantificar a ocorrência de assoreamento junto à face de monte e estruturas extravasoras. As ações recomendadas, dão-se no sentido de promover uma investigação mais detalhada dos fatores influentes na segurança e operação da barragem que tenham origem nos aspectos correlatos à fundação e do reservatório.

16.9. AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS EXTRAVASORAS, DISSIPADORAS DE ENERGIA E DE OPERAÇÃO

Considerou-se que a adoção de um evento de projeto com tempo de recorrência milenar para a verificação hidráulica do vertedouro da Barragem II, do arroio Candiota, está adequado. A partir dos valores calculados para um evento com recorrência de 1.000 anos, considerou-se que a barragem está segura frente aos critérios de projeto utilizados, por mais que tenha havido alteração nos valores de vazão e níveis de água no reservatório ao comparar esta revisão do estudo hidrológico com os valores utilizados em projeto. No entanto, ressalta-se que para níveis de água da ordem de 208,90 m, que correspondem à vazão decamilenar efluente, têm-se a possibilidade de ocorrência de pressões negativas perigosas à superfície em concreto, sendo possíveis danos em eventos dessa magnitude.

Em relação à bacia de dissipação, originalmente, o projeto previa a solução mais econômica, com ocorrência do ressalto parcialmente na rocha, a qual foi executada. Todavia, foi necessário recuperar uma cava erodida a jusante do vertedouro, executando-se uma bacia de dissipação em concreto, após a demolição da laje em concreto que constituía a bacia original. Esta é a solução que se observa em campo atualmente.

A atual bacia de dissipação foi dimensionada para uma vazão de 780 m³/s. No entanto, a partir do aumento das vazões para diferentes tempos de retorno, conforme apresentado no estudo hidrológico, foi necessário verificar a bacia de dissipação para vazões superiores à sua vazão de projeto. Em relação a isso, constatou-se que a bacia de dissipação está subdimensionada para um evento de cheia com recorrência milenar, no que tange ao comprimento da estrutura e à cota de topo dos muros laterais. No entanto, recomenda-se que qualquer decisão em relação à execução, ou não, de alterações nessas estruturas seja tomada a partir de uma revisão dos estudos contemplados no relatório REL-209-2020-HID-07-00 e REL-209-2020-HID-11-00, executada com dados que melhor representem à realidade atual, com uma série histórica de níveis de água no reservatório, de vazões afluentes etc. Além disso, recomenda-se a elaboração de uma curva-chave para o arroio Candiota, a jusante da bacia de dissipação.

A partir da Inspeção Especial executada, foram observadas diversas anomalias nas comportas, tais como problemas de vedação, oxidação em peças fixas e móveis, inclusive em parafusos onde ocorre a transmissão de esforços decorrentes do movimento de abertura e problemas no acionamento elétrico de uma das comportas. Ressalta-se, aqui, a importância de toda a equipe que efetivamente opera e executa atividades de manutenção no sistema conhecer toda a documentação pertinente. Ainda, comenta-se que o plano de manutenção e operação atualmente utilizado pela equipe não atende às especificações de operação e manutenção indicadas pelo fabricante, podendo resultar e/ou justificar anomalias nas comportas e no seu sistema de acionamento. Por fim, em relação às comportas, recomenda-se a imediata execução de manutenção nas peças com avançado grau de corrosão e que, antes da próxima revisão de segurança da barragem, se faça a medição da espessura de parede dos panos da comporta, para caracterização de seu estado após 50 anos em operação.

Para os critérios de cálculo adotados no estudo de estabilidade do bloco de concreto da estrutura do vertedouro, a barragem se mostrou estável, porém não atingiu os fatores de segurança recomendados para a hipótese de carregamento que associa efeitos sísmicos e drenagem inoperante. Para a Condição de

Carregamento Limite 3, o fator de segurança ao tombamento ficou em 1,03, inferior ao recomendado (1,1). Além disso, no contato com a fundação, foi detectada formação de fissura superior à 1/3 da base, que super o critério usualmente adotado. Para as demais hipóteses de carregamento, todos os fatores de segurança ficaram acima dos recomendados.

Tendo em vista que os drenos do vertedouro são dispositivos de alívio da subpressão e atuam em favor da segurança da barragem, recomenda-se que seja executada uma limpeza e desobstrução dos drenos, garantindo as condições de estabilidade para o bloco do vertedouro. De forma complementar e integrada às recomendações dos demais estudos, sugere-se o estudo e avaliação para planejamento e execução de investigação da fundação das estruturas extravasoras por métodos indiretos, tais como ensaios geofísicos (Radar de Penetração de Solo e métodos elétricos), para verificar as condições de interface da fundação com as estruturais civis, presença de drenos, linhas de fluxos, fraturamento etc.

16.10. AVALIAÇÃO DA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

As análises de estabilidade resultaram em fatores de segurança que atendem aos fatores mínimos especificados em literatura técnica para os cenários de estabilidade global (FS 1,51), com ocorrência de ação sísmica (FS 1,32), com carga de tráfego de veículos pesados na crista (FS 1,44) e de rebaixamento rápido do reservatório (FS 2,49).

A exceção se deu no cenário de falha no sistema de drenagem interna da barragem, onde considerou-se os filtros colmatados, resultando num FS de 1,28, abaixo do valor referência de 1,30 requerido. Deve-se ter em mente que, mesmo que não se conheça a condição atual de conservação dos filtros internos da barragem, tal cenário simulado remete a uma situação hipotética extremamente crítica e que diverge dos indícios que foram observados durante a inspeção de campo. O que deve ser averiguado é o cenário real atual que se encontra a barragem, o que deve ser feito através de ensaios e sondagens, além da instalação da instrumentação nova necessária, sendo ele, provavelmente um cenário intermediário entre a situação prevista em projeto e a situação crítica de filtros colmatados supracitada.

Ainda, embora a análise de estabilidade frente ao cenário com ação de tráfego de veículos pesados tenha resultado em valores de fatores de segurança acima do mínimo requerido, o acesso de veículos na barragem deve ser restrito a caminhões de menor porte e veículos utilitários utilizados nos serviços de manutenção, de forma a evitar deformações pontuais no pavimento da crista e devido às limitações quanto a disponibilidade de espaço que satisfaçam seguras condições de manobra. Vale frisar também que a estrutura de concreto da ponte do vertedouro não foi analisada quanto à segurança frente ao tráfego de veículos pesados.

Dadas as características homogêneas da barragem, que contém apenas uma seção típica, não foi necessária a realização de simulações de diferentes seções do maciço, se não a mais alta e mais crítica do ponto de vista de estabilidade e resistência ao cisalhamento. Também não foram averiguadas outras seções por não haver “seção instrumentada” ainda que existam instrumentos na barragem, estes não têm um histórico para que seja feita uma análise estatística e fundamentada a calibração destas seções instrumentadas.

Ainda que tenha sido possível realizar as retroanálises da estabilidade da barragem em diferentes cenários, estas avaliações foram restritas aos dados disponíveis, os quais datam do início da década de 70, a partir de ensaios dos materiais das jazidas. Nenhum dos parâmetros utilizados nas simulações são provenientes de ensaios dos materiais do maciço, o que enseja em uma manifesta e evidente limitação do diagnóstico emitido neste documento.

Dessa forma, os resultados da análise de estabilidade, e, conseqüentemente, os fatores de segurança obtidos, são fortemente dependentes das premissas adotadas e da exiguidade de informações disponibilizadas. Portanto, não se pode atestar conclusivamente as condições de estabilidade atuais da barragem, uma vez que são desconhecidos os parâmetros geomecânicos vigentes dos materiais constituintes da fundação e aterro, assim como do comportamento das linhas de fluxo no interior do maciço.

17. RECOMENDAÇÕES E MELHORIAS

A partir do escopo de atividades e documentos elaborados no âmbito da revisão periódica de segurança da Barragem II do Arroio Candiota, são listadas abaixo, no Quadro 68, as recomendações consubstanciadas de serviços e ações de melhoria dos aspectos de segurança e operacionais do empreendimento. Sugere-se, juntamente, uma classificação quanto à priorização dos serviços/atividades e prazo para implementação das mesmo. Quando aplicável, para serviços recorrentes ou rotineiros, são informadas as respectivas periodicidades.

Na consideração dos prazos sugeridos para as ações/serviços, quando não indicados especificamente, seguem a seguinte denotação:

- Curto prazo \leq 06 meses;
- 06 meses < Médio prazo \leq 18 meses
- Longo prazo > 18 meses

Quadro 68. Lista de Recomendações e Melhorias

Situação	Serviço / Ação	Prioridade	Prazo	Periodicidade
Falta de documentação técnica do período pós-construção da barragem	Pesquisa e recuperação, caso existente, de documentação no acervo técnica da barragem, especialmente a título de monitoramentos da instrumentação, inspeções, projeto executivo e projetos "As Built"	Alta	Curto prazo	Atualização conforme demanda e execução de inspeções / RPSB
Incipiência das informações cadastrais de estruturas e população à jusante	Cadastro da população e estruturas afetadas pela mancha de inundação para apoio as autoridades de Defesa Civil	Alta	Médio prazo	Conforme RPSBs
Indisponibilidade de dados topográficos primários para elaboração dos estudos de ruptura	Levantamento topográfico do vale a jusante, com respectivo levantamento de seções topobatimétricas ao longo do Arroio Candiota até os limites dos locais com presença de Áreas Potencialmente Vulneráveis (APVs)	Média	Longo prazo	
Risco de interrupção abrupta do fornecimento de água à UTE em caso de rompimento da barragem	Elaboração de um plano emergencial com foco no processo de funcionamento e/ou desligamento emergencial da usina no caso de interrupção abrupta do fornecimento de água	Média	Longo prazo	

Situação	Serviço / Ação	Prioridade	Prazo	Periodicidade
Ausência de informações topobatimétricas do reservatório	Realizar levantamento batimétrico do reservatório, objetivando: - verificar assoreamento na face de montante e estruturas extravasoras; - atualizar CAV do reservatório; - confirmar geometria e presença da ensecadeira do talude de montante; - subsidiar informações para estudos posteriores	Alta	Curto prazo	Integral no reservatório a cada 15 anos, e a cada RPSB em uma faixa de 100m a partir a interface do talude de montante com o coroamento
Deterioração / oxidação nas comportas	Substituir parafusos e porcas em avançado estado de corrosão, bem como promover tratamento das superfícies metálicas oxidadas	Alta	Curto prazo	
Danos nas tampas de carcaças de motores elétricos e sistema de transmissão de movimentação das comportas	Providenciar novas tampas de proteção para os motores elétricos das comportas, com pintura adequada	Alta	Curto prazo	
	Providenciar manutenção no sistema de movimentação das comportas para remoção da umidade e prover nova lubrificação,	Alta	Curto prazo	
Despadronização nos testes de abertura das comportas	Implementar rotina de teste de abertura para as duas comportas, por que, segundo informação do operador das comportas, os testes de rotina de abertura e fechamento são realizados somente na Comporta 1	Alta	Rotina	C/ sistema principal de energia: quinzenal; C/ sistema de emergência de energia: mensal
Incompatibilidades no plano de operação e manutenção das comportas	Adequação do plano de operação e manutenção vigente das comportas, compatibilizando-o com orientações do fabricante e dos estudos da RPSB.	Alta	Médio prazo	
Desconhecimento de particularidades do processo de operação das comportas pelas profissionais responsáveis	Treinamento e capacitação dos profissionais responsáveis pela operação das comportas, conforme manuais dos equipamentos	Alta		Bianual ou quando da substituição dos profissionais responsáveis
Verificação do estado de conservação das comportas	Medição da espessura de parede dos panos da comporta, para caracterização de seu estado após 50 anos em operação	Média	Próxima RPSB	

Situação	Serviço / Ação	Prioridade	Prazo	Periodicidade
Ausência de curva-chave para verificações hidráulicas do ressalto na bacia de dissipação	Elaboração de curva chave do Arroio Candiota a jusante da bacia de dissipação	Baixa	Longo prazo	
Desconhecimento do estado operacional dos drenos da fundação do vertedouro	Inspeção por vídeo e, se necessária, execução de limpeza e desobstrução dos drenos do bloco do vertedouro, através de injeção de ar e água sob pressão	Alta	Curto prazo	
Inexistência de investigações geotécnicas do maciço e fundação, para fins de atualização dos parâmetros dos materiais e verificação das condições internas do maciço	Execução de um conjunto de sondagens mistas para investigação das condições internas do maciço e fundação da barragem, realizando-se ensaios no talude de montante, crista, talude de jusante, ombreiras e região do pé da barragem. A definição da locação dos furos deve ser analisada com base na localização da instrumentação de auscultação, anomalias verificadas e nas seções críticas de análise de estabilidade do barramento.	Média	Médio prazo	
	Realização de ensaios in situ de perda d'água em solo e perda d'água sob pressão em rocha nos locais de sondagem mista, objetivando a determinação dos coeficientes de permeabilidade	Média	Médio prazo	
	Coleta de amostras indeformadas e realização de ensaios laboratoriais, para atualização dos parâmetros geotécnicos do material constituinte do aterro, filtros, enrocamentos, ensecadeiras e ombreiras: índices físicos, granulometria, umidade natural, peso específico natural, compactação Proctor Normal e ensaios triaxiais não-drenados	Média	Médio prazo	
	Para uma completa avaliação geológica é necessário averiguar o entorno e realizar o mapeamento geológico na escala 1:10.000 identificando as principais litologias e estruturas dentro da área do reservatório e do barramento, classificar os falhamentos de forma expedita	Baixa	Longo prazo	
	Execução de levantamentos geofísicos (tomografia elétrica, potencial espontâneo, radar de penetração de solo, entre outros), no intuito de verificar fluxos preferenciais d'água, presença de discontinuidades e "vazios" no interior do maciço do barramento. Devido à complexidade técnica e custos elevados destes levantamentos, o empreendedor deverá buscar consultoria de um especialista na área para avaliar a viabilidade, tipologia, espacialização e parâmetros dos ensaios a serem realizados;	Média	Médio prazo	
Ombreira esquerda tomada por vegetação de grande porte, impossibilitando inspeção adequada	Retirada de vegetação da ombreira esquerda e realização de inspeção detalhada da área, buscando verificar sinais de movimento, discontinuidades e surgências d'água;	Alta	Curto prazo	Posterior capinas conforme demanda

Situação	Serviço / Ação	Prioridade	Prazo	Periodicidade
Baixa quantidade de instrumentos e registros de leituras / instrumentação sem acompanhando durante longo período	Realizar a limpeza da tubulação dos PZA's 03 e PZ-04 e MNA's 05 e 06, e posteriormente realizar o ensaio de permeabilidade (teste de vida);	Alta	Até 3 meses	
	Desativar o PZ-02, através da injeção na tubulação do instrumento e por gravidade, de calda de cimento (com fator AC = 0,5), até a altura de 0,5 m em relação ao topo do terreno, onde o tubo deve ser cortado e sobre ele deve-se fazer selo com calda na mistura de solo/cimento 10%/bentonita 20%.	Média	Médio prazo	
	Instalação de instrumentação complementar (PZA, MNA, MS e MV), conforme projetos básicos apresentados junto ao relatório REL-209-2020-RDI-02-00	Alta	Até 3 meses	
Inexistência de plano de manutenção de instrumentação de auscultação	Implementar programa contínuo de manutenção dos instrumentos	Alta		Conforme demanda
Necessidade de adequação de procedimentos de leitura dos instrumentos e treinamento dos operadores	Realização de treinamentos e estabelecer programa de reciclagem e atualização para as atividades relacionadas à segurança de barragem, para a equipe responsável pelo monitoramento da instrumentação	Alta		Bianual
	Implementar rotina de leitura dos equipamentos novos e existentes, conforme periodicidades estabelecidas para cada instrumento	Alta	Curto prazo	
Área a jusante da barragem tomada por vegetação e impossibilitando inspeção adequada	Limpeza da área do pé da barragem para investigação adequada da região	Alta	Até 3 meses	
Ausência de controle de vazões percoladas e volumes de material fino carreado	Instalar instrumentos de medição de vazão, conforme relatório REL-209-2020-RDI-02-00, e iniciar monitoramento das vazões percoladas no pé da barragem, bem como observar o carreamento de finos que possam indicar piping no aterro ou perda de integridade do filtro interno.	Alta	Até 3 meses	
Inexistência de monitoramento dos marcos superficiais e movimentação do maciço	Implementar rotina de aferição dos deslocamentos de marcos superficiais	Média	Rotina	Trimestral
	Instalação de instrumentação de controle (marcos de alinhamento) e monitoramento do aparente movimento de rastejo evidenciado no talude de jusante.	Média	Médio prazo	Aferições trimestrais

Situação	Serviço / Ação	Prioridade	Prazo	Periodicidade
Incertezas atreladas às séries de dados hidrométricos para emprego em estudos hidrológicos e correlatos a operação da barragem	Monitoramento fluviométrico diário a montante do reservatório, visando o conhecimento do regime de vazões afluentes ao reservatório. Indica-se que isso seja feito em duas seções já monitoradas (Arroio Candiota Montante (ACM) e Sanga Funda Montante (SFM)). Estudar viabilidade técnico-financeira de sistema de previsão de vazão afluente ao reservatório em tempo real.	Baixa	Longo prazo	
	Implementar monitoramento pluviométrico, preferencialmente utilizando um pluviógrafo, em um local seguro e acessível próximo ao centro da bacia, com intuito de entender o comportamento das chuvas e gerar coeficientes de desagregação para a bacia, tornando possível a geração de uma IDF local;	Baixa	Longo prazo	
	Estudar viabilidade técnico-financeira de implementação de sistema de monitoramento automático do nível no reservatório, visando o entendimento do comportamento do reservatório ao longo do tempo. Também, recomenda-se que a série já existente seja compilada e disponibilizada em formato digital para que seja possível a atualização das regras de operação.	Baixa	Longo prazo	
Conjuntos de anomalias verificadas nas comportas do vertedouro	Substituição dos parafusos de sustentação das comportas com alto grau de corrosão	Alta	Até 3 meses	
	Tratamento das estruturas metálicas	Alta	Até 3 meses	
	Manutenção das comportas e suas vedações	Alta	Até 3 meses	
	Adequação das proteções das comportas contra intempéries	Alta	Até 3 meses	
Anomalias nas estruturas de concreto do canal rápido e bacia de dissipação	Tratamento das armaduras expostas com reconstituição das seções de concreto	Média	Até 8 meses	
	No caso dos elementos metálicos de amarração de formas que estão remanescentes no tardo dos muros, recomenda-se o corte e o arremate com material hidrofugante	Média	Até 8 meses	
	Para os desgastes superficiais e lixiviações, recomenda-se apenas o monitoramento da evolução	Média	Até 8 meses	
Anomalias nas estruturas de concreto do bloco, soleira do vertedouro e canal de aproximação	Recuperação Estrutural das armaduras expostas, fissuras, deslocamentos e falhas nas juntas de dilatação, bem como realizar posterior acompanhamento das anomalias	Média	Até 8 meses	
	Manutenção nas juntas de dilatação da ponte, com limpeza, adequação e aplicação de selantes.	Média	Até 8 meses	
Réguas linimétrica despadronizada e não permite leitura precisa de níveis	Instalar régua linimétrica padrão ANA, com graduação a cada 2cm e contemplando medição acima da cota 209,00 m	Baixa	Longo prazo	
Diversos cupinzeiros/formigueiros de portes variados existentes nos taludes e crista da barragem	Remoção e tratamento químico dos formigueiros e cupinzeiros	Média	Médio prazo	Trimestral

Situação	Serviço / Ação	Prioridade	Prazo	Periodicidade
Anomalias no talude de jusante	Preenchimento do afundamento próximo à ombreira esquerda com solo compactado, com aplicação de proteção superficial com vegetação gramínea	Média	Médio prazo	
	Fazer a recomposição das calhas de drenagem pluvial junto às interfaces com as ombreiras, direcionando o escoamento para local afastados do pé da barragem	Média	Médio prazo	
Anomalias no talude de montante	Preenchimento das irregularidades na superfície, com solo compactado, para evitar empoçamentos de água pluvial	Média	Até 3 meses	
	Recomposição do rip-rap, até cota da crista	Média	Até 3 meses	
Anomalias nas instalações de iluminação e caixas de passagem em solo	Manutenção/substituição de lâmpadas e/ou reatores expostos e danificados	Média	Até 3 meses	
	Manutenção/isolamento das caixas de passagem das instalações elétricas da barragem	Média	Até 3 meses	
	Rotina de inspeção Elétrica	Média		Anual
Adequações nos quadros de energia	Os elementos de aterramento devem ser readequados	Média	Até 3 meses	
	Necessidade de instalação de DPS no quadro geral	Média	Até 3 meses	
	Segregação da interligação dos condutores de neutro e terra por esquema de cores, conforme normas vigentes	Média	Até 3 meses	
	Manutenção da Fiação que alimenta o Gerador a Diesel	Média	Até 3 meses	
Edificação de apoio deteriorada	Manutenções civis (troca de vidros, pintura, recolocação de revestimentos) e limpeza do cômodo de abrigo do gerador	Baixa	Longo prazo	
Ausência de dispositivos de proteção contra incêndio nas instalações da barragem	Colocação de extintores de incêndio, em quantidade e classes adequadas para os materiais existentes no local (combustível, instalações elétricas etc.)	Média	Médio prazo	
Necessidade de padronizar o procedimento de monitoramento da instrumentação	Treinamento da equipe responsável pela leitura da instrumentação de auscultação	Alta	Até 3 meses	
Ausência de manuais para consulta in loco	Disponibilização dos manuais de operação e manutenção, para consulta in loco das equipes responsáveis nas instalações da barragem	Média	Até 3 meses	
Ausência de placas indicativas das instalações e de alerta	Instalação de conjunto placas de sinalização e alerta	Baixa	Médio prazo	
Possibilidade de entrada de animais de grande porte	Conserto da cerca junto ao portão de acesso principal	Baixa	Médio prazo	

Situação	Serviço / Ação	Prioridade	Prazo	Periodicidade
Exiguidade de documentação técnica do período operacional da barragem	Pesquisa no acervo técnica de documentação complementar relativa à projetos As Built, Projetos Executivos, CAV, registros de instrumentação e levantamentos batimétricos, para estudos posteriores	Baixa	Médio prazo	
Circuitos elétricos sem identificação	Colocação de tags para identificação dos equipamentos elétricos e seus respectivos circuitos alimentadores nos quadros de energia	Média	Médio prazo	
Necessidade de aprimoramento de sistemas de comunicação e alarme	Estudar viabilidade de projeto e implementação de sistema de comunicação direta entre barragem e usina e de videomonitoramento remoto	Média	Médio prazo	
	Estudar viabilidade de projeto e implementação de sistema de alerta sonoro de emergências	Média	Longo prazo	
Necessidade de adequações nos planos de manutenção	Inclusão das novos itens e rotinas de manutenção, nos planos 42821, 42822 e 42831, conforme Quadro 36	Média	Médio prazo	

18. RESPONSÁVEIS TÉCNICOS PELA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA

A equipe técnica responsável pela Revisão Periódica de Segurança da Barragem II do Arroio Candiota, no âmbito do contrato 4500045374, é abaixo relacionada no Quadro 69. São identificadas as atribuições dos profissionais nos produtos específicos de cada disciplina gerados no decorrer dos serviços.

Quadro 69. Equipe técnica da RPSB

Nome	Qualificação	Registro Profissional
Fabrcio Fernandes Vieira	Engenheiro Civil, Especialista em Segurança de Barragens	CREA 506.224.839.9/D-SP
Lucas Rangel Martins	Engenheiro Civil, Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental	CREA RS214.787
Lucas Camargo da Silva Tassinari	Engenheiro Civil, Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental	CREA RS205.394
Gustavo Boff Klaus	Engenheiro Civil, MBA em Gestão de Projetos	CREA RS216.186
Arthur da Fontoura Tschiedel	Engenheiro Ambiental, Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental	CREA RS200.107
Marcele Nonnenmacher Colferai	Engenheira Ambiental	CREA RS230.383
Bruno Takeo Yoshida	Engenheiro Civil, Especialista em Segurança de Barragens	CREA 506.359.465.3/D-SP
Bernardo Pires Caron	Engenheiro Ambiental	CREA RS244.347
Lucas Escobar	Engenheiro Civil	CREA 507.008.117.2/D-SP
Antúlio Alves Júnior	Engenheiro Eletricista	CREA 506.307.177.7/D-SP
Nederson da Silva Koehler	Engenheiro Mecânico	CREA RS089.528
Lucas Tarragô	Engenheiro Civil	CREA RS161.040
Pedro Meirelles Leite	Geólogo	CREA RS215.029

19. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA - Ofício 1378/2013 SRE-ANA - Documento nº 00000.028001/2016-41. Classificação da Barragem e Cronograma de Implantação do Plano de Segurança da Barragem. Brasília, 19 de setembro de 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Manual do empreendedor sobre segurança de barragens: guia de orientação e formulários do Plano de Ação Emergencial - PAE. Brasília, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual do empreendedor sobre segurança de barragens: diretrizes para elaboração do projeto de barragens. Brasília, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2017). NBR 13.028: Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Requisitos. Rio de Janeiro

BRASIL. Lei Federal nº 12.066 de 20 de setembro de 2020, que altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Diário Oficial da União. 2020.

BRASIL. Lei Federal nº 14.334 de 20 de setembro de 2010, que 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. Diário Oficial da União. 2010.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União. 1997.

BRASIL. Resolução ANA nº 236 de 30 de janeiro de 2016, que 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. Diário Oficial da União. 2017.

BRASIL. Resolução ANA nº 132 de 25 de outubro de 2016, que estabelece critérios complementares de classificação de barragens reguladas pela Agência Nacional de Águas – ANA, quanto ao Dano Potencial Associado - DPA, com fundamento no art. 5º, §3º, da Resolução CNRH nº 143, de 2012, e art. 7º da Lei nº 12.334, de 2010. Diário Oficial da União. 2016.

BRASIL. Resolução CNRH nº 178 de 29 de junho de 2016, que altera a Resolução CNRH nº 144, de 10 de julho de 2012, que estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997”. Diário Oficial da União. 2016.

BRASIL. Resolução CNRH nº 143 de 10 de julho de 2012, que estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da União. 2012.

BRASIL. Resolução CNRH nº 144 de 10 de julho 2012, que estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Diário Oficial da União. 2012.

CAMPAGNOLI, F. The Production of the Sediment of the South America Continent: Propose of Mapping of the Erosion Rates Based on Geological and Geomorphological Aspects. Revista Brasileira de Geomorfologia – Ano 7, nº 1. 2006.

CBDB. Comitê Brasileiro de Barragens. Boletim Técnico 003. A prática brasileira de projeto e operação de vertedouros: análise crítica e recomendações para seu aperfeiçoamento. Org. Diego David Baptista de Souza et al. – Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB, 2021.

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica. Termoelétrica Candiota II – Barragem II: Memorial técnico. Fevereiro de 1971.

CGTEE – Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica do Sul do Brasil. Manual de Procedimento de Operação e Controle da Barragem II. 2018.

CRUZ, P.T. 100 Barragens Brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos/FAPESP, 648 p. 1996.

DAS, BRAJA M. Fundamentos de engenharia geotécnica. Tradução All Task. 6º Ed. Editora Thomson Learning, 562 p. 2007.

ELETROBRÁS. Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas. Rio de Janeiro. 2003.

ELETROCONSULT. Barragem II – Perfis das Sondagens – Planta CAN B-11. 1971.

GEOSTUDIO SLOPE/W USER'S GUIDE: Slope/W for slope stability analysis. Manual do Slope/W. Geo-slope Office, version 5.13. Calgary, Alberta, Canada: Geo-slope International Ltd. 2002.

HIDROWEB: banco de dados. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: julho, 2021.

LANNA, A. E. & TUCCI, C. E. M. Regularização de vazões em reservatórios. In.: Hidrologia: ciência e aplicação, Org. Carlos E. M. Tucci, 2ª ed., 2. reimpr., Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass - Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: < <http://mapbiomas.org>>. Acesso em: julho de 2021.

MORGENSTERN, N.R. & PRICE, V.E. The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. Géotechnique, 15, 79-93. 1965.

MUNARSKI, C. J. UTE PRESIDENTE MÉDICI – FASE B BARRAGEM II. Projeto de Recuperação da Erosão do Maciço Natural a Jusante do Canal de Descarga do Vertedor. Maio de 1978.

SCHEREIBER, G. P. Usinas Hidrelétricas. São Paulo: Edgard Blucher; Rio de Janeiro: Engevix, 1977.

Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) / SANTOS, H. G. et. al. – 5ª ed, ver e ampl. – Brasília – DF: EMPRAPA, 2018.

SILVEIRA, J. F. A., Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento, Oficina de Textos, São Paulo, SP. 2006

SKEMPTON, A. W. The pore-pressure coefficients A and B, Geotéchnique, 4, p. 143-147, 1954.

SPENCER, E. A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslices forces. Geotechnique 17(1), 11-26, 1967.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. BUREAU OF RECLAMATION. Design of Small Dams. 3ª ed. 1987.

US Army Corps of Engineers – USACE. Using HEC-RAS for dam break studies. Davis, CA: Institute for Water Resources. 2014.

US Army Corps of Engineers – USACE. HEC-RAS river analysis system hydraulic reference manual. Davis, CA: Hydrologic Engineering Center. 2016.

VOGG. Instruções para Operação das Comportas de Candiota II. Doc. Aprovado em 05 set. 1974.

TERMO DE ENCERRAMENTO

Este documento, denominado Relatório Final de Revisão Periódica de Segurança da Barragem, é parte integrante do CONTRATO 00209/2020/CGTEE, firmado entre a COMPANHIA DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SUL DO BRASIL e A VIEIRA E FERNANDES VIEIRA, cujo objeto é a contratação dos “Serviços de Revisão Periódica de Segurança de Barragem na Barragem II do Arroio Candiota, de acordo com as instruções, exigências e condições estabelecidas na Lei nº 12.334/2010 e em resoluções ou regulamentos emitidos pelos órgãos ou entidades fiscalizadoras de segurança de barragens”, e é composto de 184 páginas, incluindo esta.

Ilha Solteira - SP, 17 de setembro de 2021.



Fabricio Fernandes Vieira
Eng. Civil Crea 506.224.839.9 SP
Eng. Fabricio Fernandes Vieira
CREA: 506.224.839.9/D-SP




Lucas Rangel Martins
CREA RS214.787



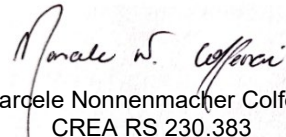
Lucas Camargo da Silva Tassinari
CREA RS205.394



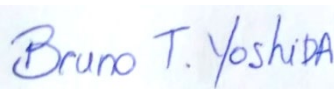
Gustavo Boff Klaus
CREA RS216.186



Arthur da Fontoura Tschiedel
CREA RS200.107




Marcele Nonnenmacher Colferai
CREA RS 230.383



Bruno Takeo Yoshida
CREA 506.359.465.3/D-SP



Bernardo Pires Caron
CREA RS244.347



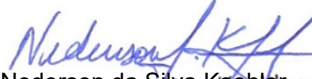
Lucas Escobar
CREA 507.008.117.2/D-SP



Antúlio Alves Júnior
CREA 506.307.177.7/D-SP



Lucas Tarragô
CREA RS161.040



Nederson da Silva Koehler
CREA RS089.528



Pedro Meirelles Leite
CREA RS215.029