



Cliente : Nacional de Grafite Ltda.

Projeto : Unidade de Pedra Azul - MG

Objeto : Barragem Marçu
Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragem (RTSB) - FEAM

Docto. : Relatório Técnico
GF34-RT-51 Rev. 0 agosto, 2025

Data	Rev.	Descrição	Por	Aprov.
29/08/25	0	Para conhecimento	ahv	pca

Cópias: 1 via cliente / 1 via arquivo

Atenção : A cópia deste documento somente terá validade se conferir com as vias rubricadas por representante legal da Geoconsultoria, na última revisão

ÍNDICE	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO	3
1.1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR.....	3
1.2. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	3
1.3. ENDEREÇO PARA ENVIO DE CORRESPONDÊNCIA	4
2. IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS	4
2.1. IDENTIFICAÇÃO DO AUDITOR	4
2.2. IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE DE AUDITORIA EXTERNA AO EMPREENDIMENTO	4
2.3. IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR	4
2.4. IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO PELA SEGURANCA DA BARRAGEM	5
2.5. EQUIPE TÉCNICA INTERNA DO EMPREENDIMENTO	5
3. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA	5
4. CARACTERÍSTICA DA BARRAGEM.....	7
4.1. EXTRAVASOR	8
4.2. SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA	8
4.3. DRENAGEM EXTERNA.....	9
5. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM	10
6. AUDITORIAS ANTERIORES E INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA	10
6.1. AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA	10
6.2. AVALIAÇÃO DAS AUDITORIAS DE BARRAGENS E RECOMENDAÇÕES.....	11
7. INSPEÇÃO DE CAMPO	11
7.1. RELATÓRIO FOTOGRÁFICO	12
8. AVALIAÇÃO HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA	12
9. DRENAGEM SUPERFICIAL.....	18
10. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS REJEITOS.....	18
11. MODOS DE FALHA/MECANISMOS DE RUPTURA DA BARRAGEM.....	19
11.1. CISALHAMENTO.....	19
11.1.1. CONDIÇÃO DRENADA.....	19
11.1.2. CONDIÇÃO NÃO DRENADA (PICO)	19
11.1.3. CONDIÇÃO NÃO DRENADA RESIDUAL (PÓS PICO – FLUXO DE LIQUEFAÇÃO)	20
11.1.4. CONDIÇÃO PSEUDO-ESTÁTICA (DINÂMICA)	20
11.1.5. ANÁLISES DE ESTABILIDADE	20
11.2. GALGAMENTO	24
11.3. EROÇÃO INTERNA (PIPING).....	24
12. AUSCULTAÇÃO	25

12.1.	INSTRUMENTAÇÃO INSTALADA.....	25
13.	CARTA DE RISCO/NÍVEIS DE REFERÊNCIA.....	27
14.	SEGURANÇA OPERACIONAL.....	31
15.	AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA.....	32
	ANEXO I – CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM – DECRETO MG 48.140, DE 25/02/2021	33
	ANEXO II – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO.....	35
	ANEXO III – SAÍDAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE	49
	ANEXO IV – GRÁFICOS DE MONITORAMENTO.....	67
	ANEXO V – DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE	72
	ANEXO VII – ATESTADO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA – ART	73

1. INTRODUÇÃO

Esta Auditoria Técnica de Segurança de barragem decorre de exigência legal, conforme a Lei 23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que estabelece a Política Estadual de Segurança de Barragens, regulamentada pelo Decreto 48.140, de 25 de fevereiro de 2021, do Governo do Estado de Minas Gerais, para a Barragem Marçu, implantada na Unidade de Pedra Azul, de propriedade da Nacional de Grafite Ltda., no município de Pedra Azul, MG.

O relatório é baseado nas inspeções regulares de campo da barragem e na interpretação dos dados do monitoramento geotécnico, disponíveis. Os dados estão atualizados até o mês de julho/2025.

A barragem está inativa, não recebendo rejeitos do processo de beneficiamento mineral.

1.1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

Razão: Nacional de Grafite Ltda
Nome Fantasia: Nacional de Grafite
CNPJ: 21.228.861/0001-00
Endereço: Rodovia MG164, KM 04
Complemento: Zona Rural
Bairro: Água Limpa
Município: Itapeçerica UF: MG Cep: 35 550 000 Caixa Postal: 12
Telefone: (37) 3341 8008
E-mail: m.ambiente@grafite.com

1.2. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Razão: Nacional de Grafite Ltda
Nome Fantasia: Nacional de Grafite
CNPJ: 21.228.861/0003-63
Processo administrativo PA n.º: 128/1987/015/2017 (LOC)
Endereço: Fazenda Baixa Grande
Complemento: Zona Rural
Município: Pedra Azul UF: MG
Telefone: (37) 3341 8008
E-mail: m.ambiente@grafite.com

1.3. ENDEREÇO PARA ENVIO DE CORRESPONDÊNCIA

Destinatário: Alexandre Alves da Silva - Coordenador Meio Ambiente
Endereço: Rodovia MG164- KM 04
Complemento: Zona Rural
Bairro/localidade: Água Limpa

2. IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS

Abaixo seguem os representantes técnicos e legais do empreendedor e os responsáveis técnicos do presente relatório.

2.1. IDENTIFICAÇÃO DO AUDITOR

Nome: Renato Capucho Reis
Formação: Engenheiro de Minas
CPF: 027.844.946-83
CREA: MG 0000073932D
Telefone: (11) 3872-2076
E-mail: geo@geoconsultoria.com

2.2. IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE DE AUDITORIA EXTERNA AO EMPREENDIMENTO

Nome: Renato Capucho Reis	Formação: Engenheiro de Minas
CPF: 027.844.946-83	CREA: MG 0000073932D

Nome: Adalberto Hideo Viana	Formação: Engenheiro Civil
CPF: 266.419.318-03	CREA: 5062124275

Nome: Paulo Cesar Abrão	Formação: Geólogo
CPF: 507.888.928-00	CREA: 0600329802

Nome: André Silva Costa	Formação: Engenheiro Civil
CPF: 370.717.608-88	CREA: 5070423588

2.3. IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR

Nome: Clovis Cordeiro Rudge Ramos
CPF: 214.046.678-06
Função: Diretor Presidente
Telefone: (37) 3341-8068
E-mail: juridico@grafite.com

2.4. IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO PELA SEGURANCA DA BARRAGEM

Nome: Maurício Couto da Neves Peixoto
Formação: Engenheiro de Minas
CPF: 076.985.246-71
CREA: MG 165651/D
Função: Engenheiro de Minas/Geotécnico
Telefone: (37) 3341 8033
E-mail: mauricio.peixoto@grafite.com

2.5. EQUIPE TÉCNICA INTERNA DO EMPREENDIMENTO

O monitoramento da barragem é acompanhado pela equipe da unidade e pela Geoconsultoria.

A rotina do monitoramento estabelece a execução de inspeções visuais quinzenais à estrutura, com preenchimento de ficha de campo própria (FIR), na qual são estabelecidos os itens/roteiro de inspeção. Assim que preenchidas as FIR's são encaminhadas para análise e interpretação.

As medições dos instrumentos são efetuadas com frequências predeterminadas, sendo no mínimo quinzenais. Os dados coletados são atualizados nas Planilhas Monitora e encaminhadas para análise e interpretação.

A Geoconsultoria analisa os dados gerados ao longo do mês, concatenando-os em relatórios mensais de avaliação de segurança. Estes são emitidos para os envolvidos diretos com a gestão de segurança da barragem.

Não obstante, caso se identifiquem anomalias nas leituras quinzenais ou nas FIR, a Geoconsultoria contata imediatamente a Nacional de Grafite Ltda.

Além das inspeções formais quinzenais, a equipe responsável visita a barragem e o inspeciona, de maneira expedita, diariamente. Em caso de detecção de alguma anormalidade, os responsáveis são comunicados imediatamente.

A equipe técnica de segurança da barragem recebeu treinamento para realização de suas atividades, tanto de inspeção de campo, quanto para leitura dos instrumentos.

3. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

A estrutura apresenta as características apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Resumo dos dados da barragem.

Resumo dados da Estrutura	
Nome da Estrutura	Barragem Marçu
Localização	Pedra Azul - MG
Coordenada geográfica do ponto central da crista do barramento	E 279.465 ; N 8.242.314 (SIRGAS 2000)
Finalidade do barramento	Contenção de água e rejeitos
Ano de início de implantação	1987 (alçamento)
Ano de operação;	-
Ano de término da operação	1988
Ano de descaracterização da barragem;	-
Situação (status) de operação atual da barragem;	Inativa
Volume atual do reservatório (m³)	1.267.824 (fonte: valor fornecido pela Nacional de Grafite)
Capacidade total do reservatório (m³)	1.654.850 (fonte: relatório Estudo hidráulico-Hidrológico NG-15-EH-MR-RL-R0)
Área do reservatório (m²)	94.000 (fonte: relatório Estudo hidráulico-Hidrológico NG-15-EH-MR-RL-R0)
Elevação (m) do terreno natural no ponto baixo do barramento (m)	588
Altura atual da barragem (m)	37 (fonte: relatório Estudo hidráulico-Hidrológico NG-15-EH-MR-RL-R0)
Altura final prevista no projeto para a barragem (m)	37
Alçamentos realizados e seus respectivos métodos empregados	1 alçamento por jusante
Alçamentos previstos	nenhum
Curso d'água interceptado	não

Resumo dados da Estrutura
Classificação de categoria de risco - CRI (Decreto 48.140/21)
Baixo
Potencial de Dano Ambiental - PDA (Decreto 48.140/21)
Baixo
Endereço do site eletrônico
https://www.grafite.com/barragens

4. CARACTERÍSTICA DA BARRAGEM

A barragem Marçu foi construída em 1981, com a finalidade de contenção dos rejeitos da concentração de minério de grafite. A barragem foi alteada em 1986, pelo método de jusante, tendo sido a crista elevada da cota 616 m para a cota 625 m.

Em 1988 a Nacional de Grafite interrompeu o lançamento de rejeitos no reservatório desta barragem - ao qual a mesma se destinava. Desde então, o nível d'água no reservatório foi sendo rebaixado, até desaparecer na fase atual. Normalmente a água afluenta à pequena bacia hidrográfica (inferior a 1 km²) e das chuvas se infiltra nos rejeitos, não sendo observado extravasão.

O assoreamento do reservatório atinge a cota 618 m, havendo, portanto, capacidade ociosa do mesmo.

É uma barragem de terra convencional, com 37 m de altura, comprimento de crista de 266 m e inclinação média do talude de jusante de 1V:3,5H.

O projeto de alteamento foi elaborado pela empresa GEOTOP Engenharia de Solos. A figura abaixo mostra uma seção típica do projeto de alteamento.

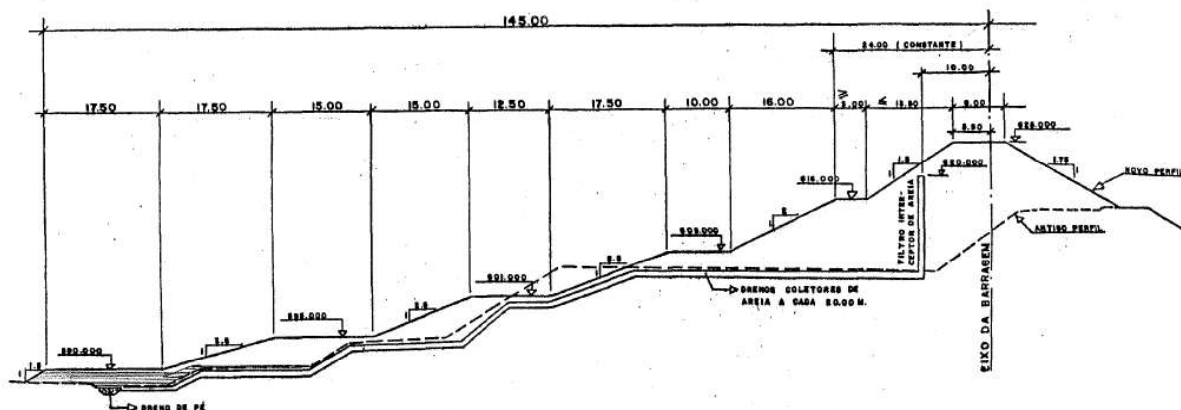


Figura 1 – Seção típica de projeto (Geotop, sem código).

4.1. EXTRAVASOR

A barragem possui um extravasor na ombreira direita, constituído por uma torre de concreto, interligada a 3 tubos que atravessam a crista da barragem, descarregando em canal em degraus a céu aberto executado em concreto. A tomada d'água se localiza na cota 623,25 m, proporcionando um bordo livre total de 1,75 m em relação à crista da barragem.

4.2. SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

Pelos documentos disponíveis, o dique inicial não dispunha de sistema de drenagem interna. Como parte do projeto de alteamento foi implantado filtro vertical de areia, posicionado a 10 m a jusante do eixo da barragem, conectado a drenos coletores perpendiculares ao eixo da barragem, construídos sobre a superfície do dique inicial, que descarregam as vazões em um dreno de pé. As figuras 1 (seção) e 2 (planta) ilustram o sistema de drenagem interno implantado quando do alteamento.

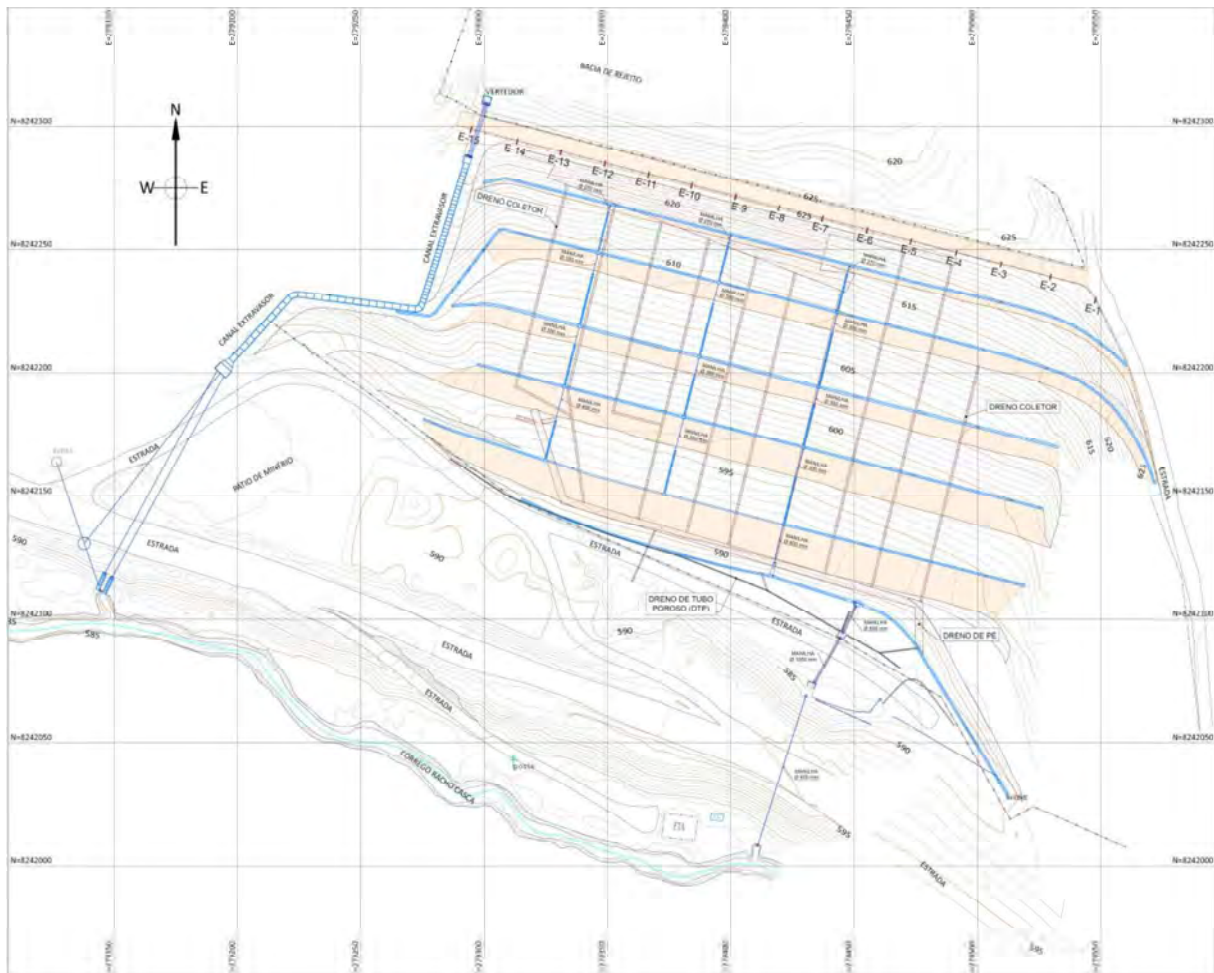


Figura 2 – Desenho de drenagem interna da barragem (GF41DE41-R0).

Com base na seção típica de projeto (figura 1) o filtro vertical de areia foi implantado a partir da cota 620,0 m, até o contado com o dique inicial, e apresenta aproximadamente 0,8 m de espessura.

Os drenos coletores estão conectados na base do filtro vertical, no contato com o aterro do dique inicial, espaçados a cada 20 m, totalizando 10 drenos, sobrepondo-se à superfície do aterro do dique inicial. Os drenos coletores foram projetados com um núcleo de brita, em formato quadrado, com 0,30 m de lado, envolto em areia, com 0,30 m de espessura, implantados em uma vala com 0,80 m de largura e altura variável, com mínimo de 0,90 m.

Os drenos coletores, na região do pé da barragem, próximo a cota 588,0 m, foram conectados ao dreno de pé. O dreno de pé segue em alinhamento longitudinal ao eixo da barragem e conduzindo as vazões para um único ponto de medição. Conforme informações de projeto, o dreno de pé apresenta núcleo de brita, em formato retangular, com 0,30 m de espessura e 0,80 m de largura, envolto em areia, com 0,90 m de espessura e 3,00 m de largura, também em formato retangular, implantados em uma vala com altura variável, com mínimo de 0,90 m.

O dreno de pé é representado pela saída DTp 4, na caixa de coleta, a jusante da barragem. Na caixa de medição existem outras saídas de drenagem (DTp 2), utilizados no passado por “necessidades construtivas”, possivelmente correspondendo a zonas úmidas no entorno da caixa de coleta

Outro dreno contribuinte da caixa de coleta atual é o DTp 2, com direção perpendicular ao eixo da barragem,

Além deste sistema de drenagem interna, foram também executados drenos de alívio, perfurados, inclinados para baixo, com profundidades de cerca de 30 m, descarregando as vazões nas canaletas das bermas de cotas 590 e 596 m. Estas canaletas descarregam as vazões na caixa de coleta, através de uma manilha, instalada com direção perpendicular à parede montante da caixa, com ponto de medição representado pela sigla DT Soma.

4.3. DRENAGEM EXTERNA

O sistema de drenagem superficial é constituído dos seguintes elementos hidráulicos:

- Canaletas nas bermas (triangulares);
- Canaleta retangular na berma 590;
- Descidas hidráulicas em escada;
- Travessias das bermas com tubos.

5. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM

A classificação da barragem é realizada de acordo com o Decreto MG nº 48.140, de 25/02/2021. As planilhas e tabelas desta resolução são apresentadas preenchidas no Anexo I, ao final deste documento.

A tabela 2 apresenta o resultado final da avaliação.

Tabela 2 – Classificação Decreto 48.140.

Categoria de risco	Baixo
Potencial de dano ambiental	Baixo
Classificação da barragem	E

Não houve alteração da classificação da barragem com relação ao último relatório.

6. AUDITORIAS ANTERIORES E INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA

As inspeções visuais rotineiras na barragem são realizadas quinzenalmente, atendendo às recomendações Legais e do sistema de gestão interno. As Auditorias de segurança são realizadas com frequência semestral, conforme recomendações Legais.

6.1. AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA

As inspeções da barragem são realizadas com frequência quinzenal, com registro em folha apropriada e acompanhada de fotos ilustrativas dos aspectos observados. Houve também, neste período, inspeção pela equipe de Auditoria, no dia 31/07/2025.

As avaliações mensais de segurança são arquivadas no Volume III do PSB.

Abaixo segue o único ponto identificado nas inspeções, que faz referência ao estado de conservação e ao atendimento dos planos de ação existentes na época:

- Vegetação alta em alguns pontos (registro: mar/25, abr/25, mai/25).

A tabela 3 mostra o resumo das pontuações do estado de conservação (Decreto MG 48.140) definidos para as inspeções quinzenais.

Tabela 3 – Resumos das pontuações do Estado de Conservação.

Data	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos Taludes / Paramentos	Drenagem Superficial
07/03/2025	0	0	0	0	0
20/03/2025	0	0	0	0	0
03/04/2025	0	0	0	0	0
22/04/2025	0	0	0	0	0
09/05/2025	0	0	0	0	0
22/05/2025	0	0	0	0	0
05/06/2025	0	0	0	0	0
17/06/2025	0	0	0	0	0
03/07/2025	0	0	0	0	0
21/07/2025	0	0	0	0	0
06/08/2025	0	0	0	2	0
16/08/2025	0	0	0	2	0

6.2. AVALIAÇÃO DAS AUDITORIAS DE BARRAGENS E RECOMENDAÇÕES

No último relatório de auditoria de segurança (GF34RT47) foi observado aspecto adequado da barragem, com vegetação aparada, canaletas limpas e instrumentos identificados, sem presenças de erosões, trincas ou outras feições indicativas de instabilidade.

Foram indicadas as seguintes ações de rotina:

- O combate às pragas (formigueiros e cupinzeiros) deverá continuar sendo executado na rotina da Unidade - Rotina (Prazo: 30/03/25 até 30/08/25);
- Manter a crista e os taludes da barragem roçados e limpos, de maneira a permitir uma adequada inspeção de campo - Rotina (Prazo: 30/03/25 até 30/08/25);
- Manter limpo o emboque do extravasor - Rotina (Prazo: 30/03/25 até 30/08/25);
- Manter as ações de monitoramento - inspeções de campo quinzenais e medição dos instrumentos - Rotina (Prazo: 30/03/25 até 30/08/25).

As recomendações se referem basicamente a manutenção da barragem, o que vem sendo seguido pela Grafite, e que pode ser verificado nas fotos da visita de inspeção da equipe da Geoconsultoria, em julho do corrente ano.

7. INSPEÇÃO DE CAMPO

A inspeção regular ocorreu no dia 31 de julho de 2025 e foi executada pelo Eng. Adalberto Hideo Viana, da Geoconsultoria, acompanhado pelos Engs. Maurício Couto das Neves Peixoto e Osório Primo Fernandes e o Téc. Ronaldo Ferreira, todos da Nacional de Grafite. No momento da

inspeção não estava chovendo e, segundo relatos da equipe de Unidade, nos dias anteriores também não havia chovido.

O aspecto geral do barramento é adequado, sem sinais que indicassem instabilidades, tais como trincas ou depressões.

Foram indicados alguns pontos importantes, conforme descritos abaixo:

- A vegetação dos taludes e bermas estavam roçados permitindo a inspeção visual detalhada;
- Todos os instrumentos estavam identificados;
- Todas as bermas estavam identificadas e a crista estaqueada;
- As canaletas superficiais estavam limpas, assim como os demais elementos de drenagem;
- O emboque e o desemboque do extravasor estavam limpos e sem passagem de água;
- O reservatório não apresentava lâmina d'água e a barragem não recebe rejeitos;
- As vazões dos drenos, na caixa de coleta, estavam límpidas;
- O acesso até o dreno de fundo estava com lama, dificultando o trânsito de veículos e de pessoas.

7.1. RELATÓRIO FOTOGRÁFICO

As fotos que ilustram aspectos relevantes da barragem, tomadas durante a inspeção de campo, estão apresentadas no Anexo II.

8. AVALIAÇÃO HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA

O estudo hidrológico e hidráulico foi realizado pela empresa 3EM (número NG-15-EH-MR-RL-R2, de 21/11/23), para a cheia de TR=10.000 anos (mais crítica que a PMP).

A série histórica avaliada está baseada nos dados das estações meteorológicas presentes num raio de 50 km de distância da barragem, sendo utilizada a média aritmética das diferentes precipitações, para diferentes períodos de retorno (TR). As estações utilizadas foram as Itambé, Itaobim, Inhobim, Fazenda Cajueiro, Medina, Pedra Azul e Bandeira. A estação Itambé é a mais antiga, com registro desde 1947.

Tabela 4 – Precipitação de 24h para períodos de retorno notáveis (mm).

TR (anos)	Probabilidade (%)	Bandeira	Fazenda Cajueiro	Inhobim	Itambé	Itaobim	Medina	Pedra Azul	Média
2	50,00	85,59	96,71	87,32	69,98	76,60	95,23	86,38	85,40
5	20,00	107,38	121,33	108,03	100,02	97,96	121,89	107,10	109,10
10	10,00	119,93	135,52	119,64	121,62	110,83	137,55	120,06	123,59
25	4,00	130,93	147,96	129,65	142,93	122,40	151,42	131,95	136,75
30	3,33	136,89	154,69	135,00	155,35	128,78	158,97	138,57	144,04
50	2,00	140,95	159,27	138,64	164,16	133,16	164,15	143,16	149,07
60	1,67	146,48	165,52	143,55	176,60	139,18	171,21	149,51	156,01
80	1,25	150,28	169,81	146,91	185,44	143,35	176,09	153,93	160,83
100	1,00	153,16	173,07	149,46	192,31	146,53	179,80	157,32	164,52
200	0,50	161,84	182,87	157,06	213,72	156,19	191,00	167,66	175,76
500	0,20	172,74	195,20	166,53	242,24	168,50	205,16	181,00	190,20
1.000	0,10	180,65	204,14	173,34	264,01	177,55	215,49	190,88	200,87
10.000	0,01	205,42	232,13	194,37	337,60	206,45	248,11	222,90	235,28

As análises de frequência foram analisadas por distribuições Exponencial, Gumbel, Log Normal e Pearson III, para todas as estações. A distribuição Person III foi a que apresentou a maior aderência aos dados das séries históricas. As figuras abaixo mostram os gráficos com as distribuições estatísticas, juntamente com os pontos da série histórica de cada estação.

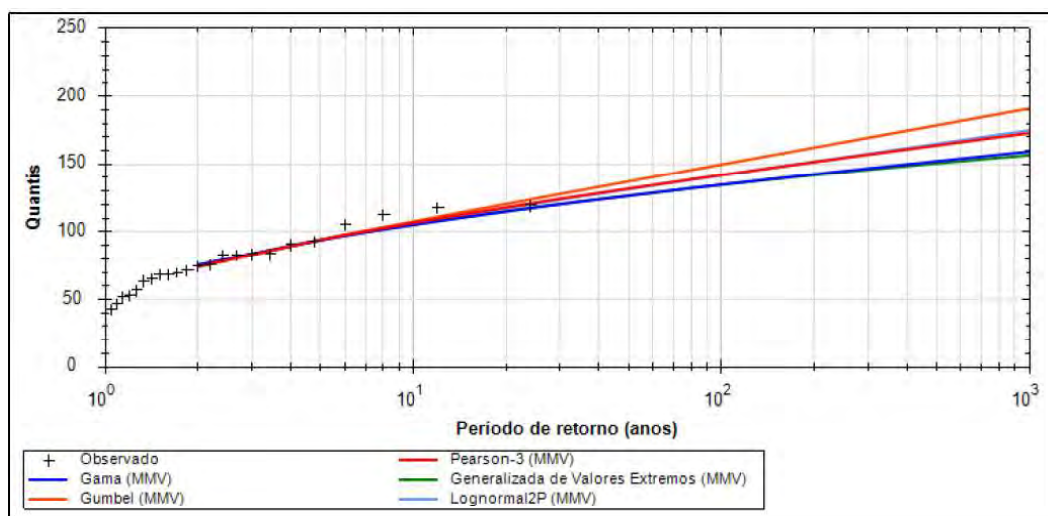


Figura 3 – Ajuste das distribuições – Estação Bandeira (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

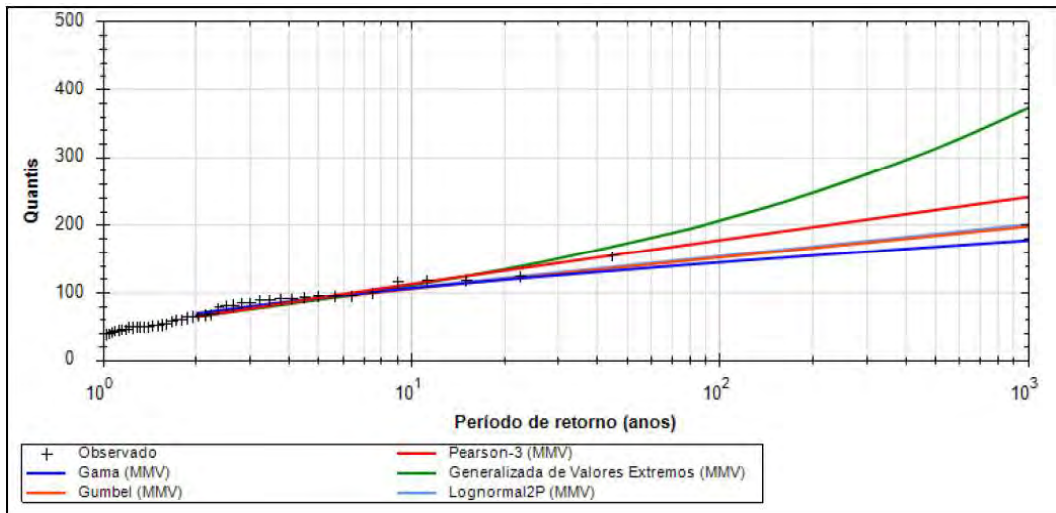


Figura 4 – Ajuste das distribuições – Estação Fazenda Cajueiro (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

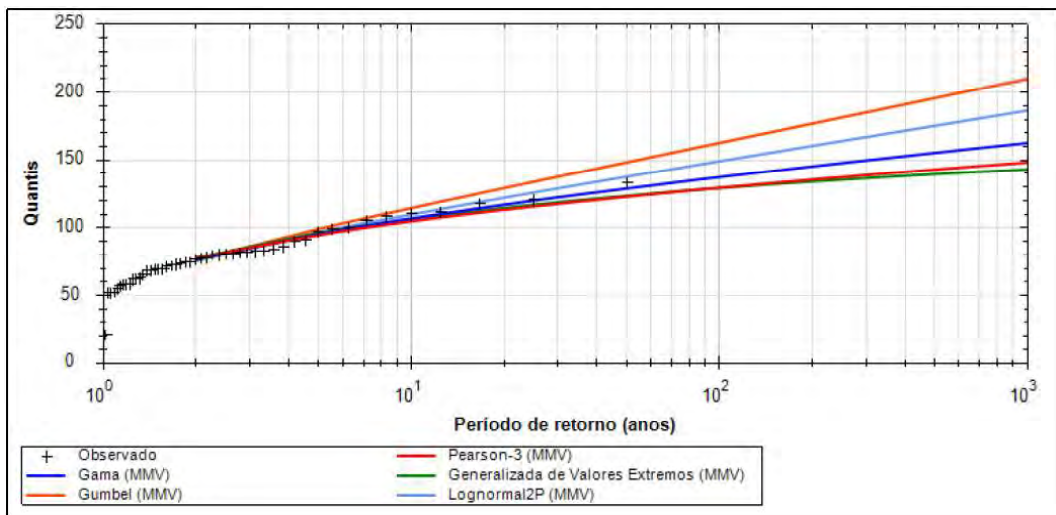


Figura 5 – Ajuste das distribuições – Estação Inhobim (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

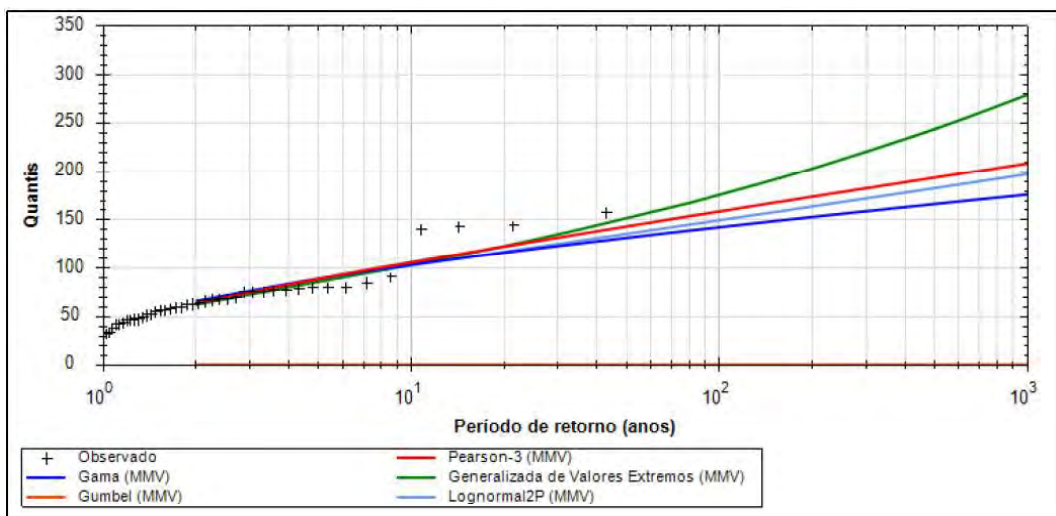


Figura 6 – Ajuste das distribuições – Estação Itambé (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

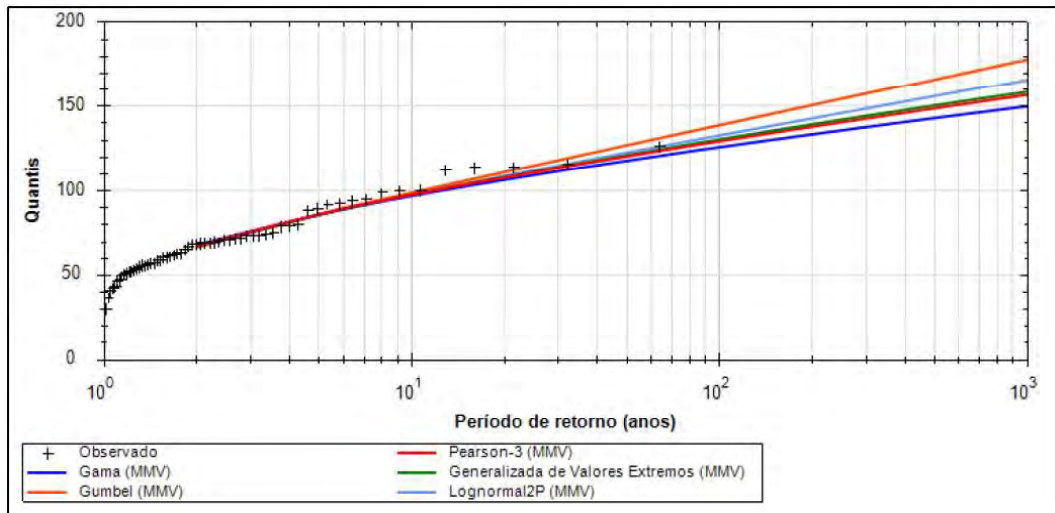


Figura 7 – Ajuste das distribuições – Estação Itaobim (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

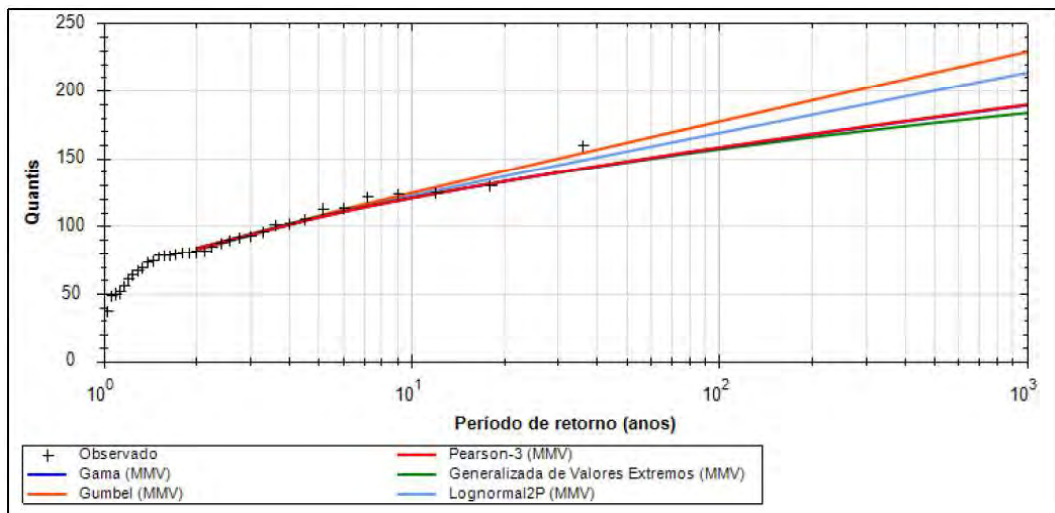


Figura 8 – Ajuste das distribuições – Estação Medina (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

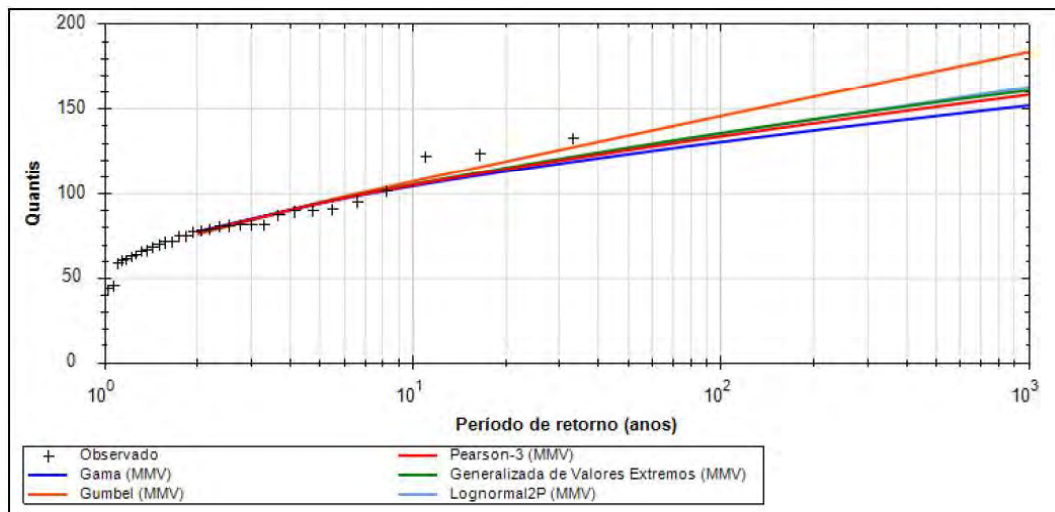


Figura 9 – Ajuste das distribuições – Estação Pedra Azul (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

Portanto, a distribuição de Pearson III foi utilizada para a determinação dos *quantis* de precipitação. Foi utilizado fator de multiplicação de 1,095 para a transformação da chuva diária em chuva e 24 h.

Na tabela abaixo são apresentados os *quantis* de chuva obtidos pela análise descrita acima, além da comparação com as precipitações PMP.

Tabela 5 – Quantis de precipitação para períodos de retorno notáveis (mm).

Duração	Fator de Desagregação	TR - Tempo de Retorno								PMP
		2	10	25	50	100	500	1.000	10.000	
5 minutos	0,340	13,48	19,51	21,59	23,54	25,98	30,03	31,72	37,15	33,62
10 minutos	0,540	21,09	30,52	33,77	36,81	40,63	46,97	49,60	58,10	52,58
15 minutos	0,700	27,47	39,76	43,99	47,96	52,93	61,19	64,62	75,69	68,50
20 minutos	0,810	32,40	46,89	51,88	56,55	62,41	72,15	76,20	89,26	80,78
25 minutos	0,910	36,40	52,68	58,29	63,54	70,13	81,07	85,62	100,29	90,76
30 minutos	0,740	39,65	57,38	63,48	69,21	76,38	88,30	93,25	109,23	98,85
1 hora	0,520	53,58	77,54	85,79	93,53	103,22	119,33	126,02	147,61	133,59
2 horas	1,270	59,95	86,77	96,00	104,65	115,50	133,52	141,01	165,17	149,48
6 horas	0,720	72,94	105,56	116,80	127,32	140,52	162,45	171,57	200,96	181,87
8 horas	0,780	76,77	111,11	122,93	134,01	147,90	170,98	180,58	211,52	191,42
10 horas	0,850	79,95	115,70	128,02	139,55	154,02	178,06	188,05	220,26	199,34
12 horas	0,880	82,57	119,50	132,22	144,13	159,07	183,90	194,22	227,49	205,88
24 horas	1,095	93,51	135,34	149,74	163,23	180,15	208,27	219,95	257,64	233,16
1 dia	1	85,40	123,59	136,75	149,07	164,52	190,20	200,87	235,28	212,93

Para a verificação do sistema extravasor foram utilizados os dados físicos da bacia de drenagem e a curva cota x volume do reservatório.

Dados físicos da bacia de drenagem:

CN=55
 Tc = 33,78 min.
 Área = 1,22 km²

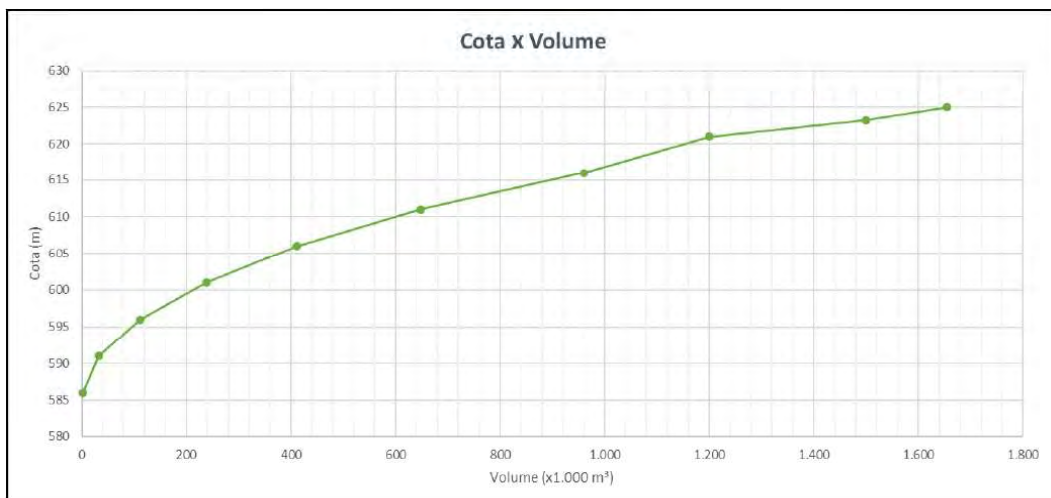


Figura 10 – Curva cota x volume do reservatório (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

Com base nos dados hidrológicos e físicos da bacia foi calculada o trânsito de cheias da barragem, utilizando o software HEC-HMS 4.1, resultando em borda livre de 1,20 m. A tabela abaixo mostra os principais resultados do estudo.

Tabela 6 – Principais resultados da passagem da chuva decamilenar (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

Resumo dos Resultados	
Vazão de pico afluente	9,9 m ³ /s
Vazão de pico defluente	5,5 m ³ /s
Nível de água máximo <i>maximorum</i>	623,8 m
Borda livre	1,2 m

A altura da onda provocada pelo vento de projeto foi estimada em 0,34 m, suficiente para se acomodar dentro dos limites da borda livre.

Tabela 7 – Resultados da verificação da amplitude eólica (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

Resumo dos Resultados	
<i>Fetch</i>	0,41 Km
Velocidade do vento	80 Km/h
Amplitude da onda eólica	0,34 m

A verificação hidráulica anterior havia atestado a geometria dos elementos constituintes do extravasor, entretanto, constatou que a velocidade da água no canal extravasor trapezoidal era superior a 3,0 m/s. Essa constatação motivou a recomendação para instalar canal em degraus.

O estudo “As Is” de fevereiro de 2025, elaborado pela empresa 3EM (número NG-71-AI-MR-RL-R1, de 21/02/25), realizou a verificação hidráulica do novo do sistema extravasor, considerando a proposição de degraus ao longo do canal extravasor de concreto, atestando sua condição.

O sistema extravasor reconfigurado é assim resumido:

- ✓ Três tubos de concreto DN 1000;
- ✓ Na entrada dos tubos, existe uma caixa retangular de concreto, com 3 aberturas na
- ✓ El.623,25m, aproximadamente;
- ✓ Os tubos descarregam em escada hidráulica construída em três trechos distintos;
- ✓ No trecho final das escadas, sob a estrada de acesso existente, foi construída uma caixa de passagem que faz a ligação entre a escada hidráulica e a tubulação de concreto que coleta a água para a travessia da estrada;
- ✓ A tubulação de concreto já existia, mas passou por adequações. À tubulação antiga, DN1000, com 3,7% de declividade, foram acrescentadas mais duas tubulações similares, com 1º de declividade.

As verificações realizadas mostram que a capacidade de amortecimento do reservatório e vertimento do sistema extravasor, para a cheia de TR=10.000 anos, atendendo à normativa vigente (NBR13028/2024).

9. DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial da barragem (canaletas e descidas d'água) foi verificado para a chuva com recorrência de 100 anos, conforme recomendado na NBR13028/2024, e é apresentado no relatório NG-15-EH-MR-RL-R2, elaborado pela empresa 3EM em 27/11/2023.

Tal verificação conclui sobre a necessidade de elevação das paredes canaleta 6 (pé da barragem), no trecho A39, e adequações nas descidas hidráulicas 8, 9 e 10, pois resultaram em velocidade de escoamento maior do que 4,0 m/s. Essas adequações foram realizadas em fevereiro de 2025.

A figura 1 mostra o sistema de drenagem verificado.



Figura 11. Sistema de drenagem superficial presente na barragem (fonte: NG-15-EH-MR-RL-R2).

10. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS REJEITOS

Desde 1988 não são lançados rejeitos na Barragem Marçu. Os rejeitos ali presentes possuem os mesmos parâmetros geotécnicos dos rejeitos hoje lançados na Barragem Rancho Casca.

No projeto de descaracterização, CAR-E-PM-RE-001-0, abril/2019, as características dos rejeitos são descritas da seguinte forma:

- Densidade seca: 1,4 t/m³
- Granulometria: argila siltosa, com pequena proporção de areia muito fina
- Consistência: Nspt entre 3 e 5 golpes (mole a muito mole)
- Permeabilidade: entre 1*10⁻⁵ cm/s e 1*10⁻⁶ cm/s
- Densidade natural: 16 kN/m³
- Resistência mecânica: c' = 9 kPa; $\phi' = 24^\circ$
- Suscetibilidade à liquefação: não é suscetível por ser material argiloso (reconhecimento tátil-visual)

No que diz respeito à classificação ambiental do rejeito, o Boletim Analítico 120195/2018, de autoria da ALS, classifica o rejeito como:

- Classificação ambiental (NBR 10.004): Classe II B – Inerte

11. MODOS DE FALHA/MECANISMOS DE RUPTURA DA BARRAGEM

Neste item é avaliada a segurança da Barragem com relação aos possíveis modos de ruptura da estrutura, que são: cisalhamento, galgamento e erosão interna (*piping*).

Atendendo à norma brasileira NBR13028/2024 e ao “Termo de referência para a elaboração do relatório técnico de auditoria de segurança de barragens”, da FEAM, a estabilidade foi analisada para três condições de solicitação: condição drenada, condição não drenada com resistência de pico e condição não drenada pseudo-estática.

11.1. CISALHAMENTO

Os Fatores de Segurança (FS) de referência são diferentes para a condição drenada e não drenada, em carregamentos estáticos e pseudo-estáticos, pois representam condições de comportamento diferentes dos solos, quando submetidos às referidas condições de carregamento. Nos subitens seguintes, são apresentados os valores de referência para cada condição analisada, assim como as referências bibliográficas que subsidiam os referidos valores.

11.1.1. CONDIÇÃO DRENADA

Nas análises de estabilidade para condição de solicitação drenada, a norma brasileira estabelece valor mínimo para o FS de 1,5, para a condição normal de operação e nível d'água máximo do reservatório.

11.1.2. CONDIÇÃO NÃO DRENADA (PICO)

Quando se trata de fatores de segurança para condições não drenadas, a norma não especifica um valor mínimo, sendo este estabelecido pelo projetista, entretanto, de acordo com a Resolução ANM 95, o fator de segurança mínimo é de 1,3.

A condição não drenada é intrínseca a um determinado tipo de material (granulometria, índice de vazios, permeabilidade, saturação, etc.), quando exposto a uma solicitação ou carregamento rápido, caracterizado, por exemplo, por alteamentos ou elevações da freática interna.

Para a condição atual da barragem não são observadas tais características, portanto essa condição é de baixa probabilidade de ocorrência, não sendo crítica.

11.1.3. CONDIÇÃO NÃO DRENADA RESIDUAL (PÓS PICO – FLUXO DE LIQUEFAÇÃO)

Para a condição não drenada residual, quando o solo ou os rejeitos apresentam susceptibilidade à liquefação, a Norma brasileira (NBR13028/2024) e o Termo de Referência da FEAM para elaboração de auditorias de segurança não estabelecem referências para os valores de fator de segurança mínimos.

Por outro lado, a condição residual depende da ocorrência de gatilhos que desencadeiem uma solitação não drenada.

Para a condição atual da barragem, os possíveis gatilhos (deformação, elevação freática, carregamentos rápidos, escorregamento, etc.) são acompanhados e controlados, portanto, estando cobertos pela condição não-drenada e não drenada pseudo-estática.

Para os gatilhos ditos “desconhecidos”, de origem indeterminada, podem até serem discutidos para barragens alteadas por montante, de grande extensão e altura, mas no presente caso não se entende como aplicável.

Ou seja, a hipótese de um gatilho desconhecido, de origem indeterminada, deve estar atrelada a uma probabilidade de ocorrência muito baixa, dentro da faixa de riscos admitida para qualquer tipo de barragem.

11.1.4. CONDIÇÃO PSEUDO-ESTÁTICA (DINÂMICA)

Como critério de aceitação da estabilidade pseudo-estática, será adotado FS maior ou igual a 1,1 ($FS \geq 1,1$), de acordo com o estabelecido na NBR13028/2024.

11.1.5. ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Os parâmetros de resistência adotados foram os estimados no projeto de descaracterização elaborado pela empresa DAM, documento CAR-E-PM-RE-001-0, emitido em abril/2019, conforme apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros de resistência dos materiais.

Material	γ [kN/m ³]	Tensões totais		Tensões efetivas	
		c [kPa]	φ [°]	c' [kPa]	φ' [°]
Aterro compactado 1ª etapa	19	6 ³	16 ³	12 ²	28 ²
Aterro compactado 2ª etapa ¹	18	6	16	11	32
Rejeitos ¹	16	3	21	11	32
Drenagem interna ²	20	0	32	0	32
Colúvio	19	6 ²	16 ²	15 ²	28 ²
Solo residual (fundação)	20	6 ²	16 ²	16 ²	32 ²

c, φ – coesão e ângulo de atrito

γ - Peso específico natural

¹valores estimados a partir dos ensaios triaxial;

²valores adotados em projeto com base nos ensaios N_{SPT} ;

³adotado para o presente relatório.

O perfil geológico da barragem foi estimado a partir da campanha realizada pela empresa Geothra, em 2018. Foram realizadas 14 sondagens a percussão, para embasamento do projeto de descaracterização da barragem (CAR-E-PM-RE-001-0, elaborado pela empresa DAM) e reinterpretados no projeto “As Is” (NG-71-AI-MR-RL-R1, de 21/02/25, elaborado pela empresa 3EM).

A locação dos furos de sondagens é apresentada na figura abaixo, assim como a posição das seções transversais do estudo.

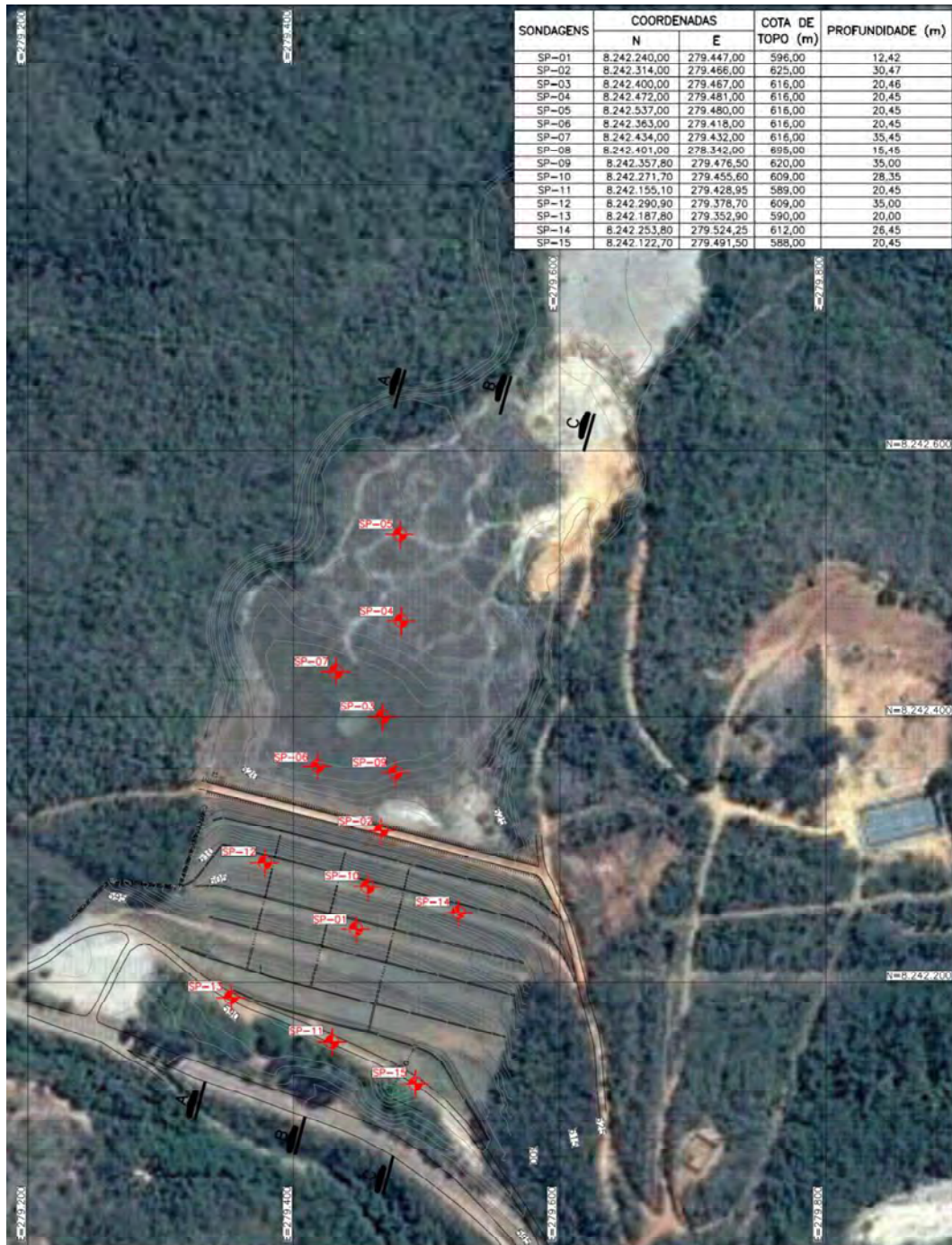


Figura 12 – Planta de locação das investigações – Barragem Marçu (CAR-E-PM-RE-001-0).

As sondagens mostram quem a barragem possui aterro silto arenoso e areno-silto-argiloso, com pedregulho, com valores de NSPT entre 5 a 34 golpes. O aterro está apoiado em solo residual areno siltoso, micáceo, com NSPT superiores a 45 golpes.

Próximo à ombreira direita foi detectada camada coluvionar no reservatório, estendendo-se até a projeção do espadar de montante da barragem.

As seções interpretadas no estudo de descaracterização são apresentadas nas figuras abaixo.

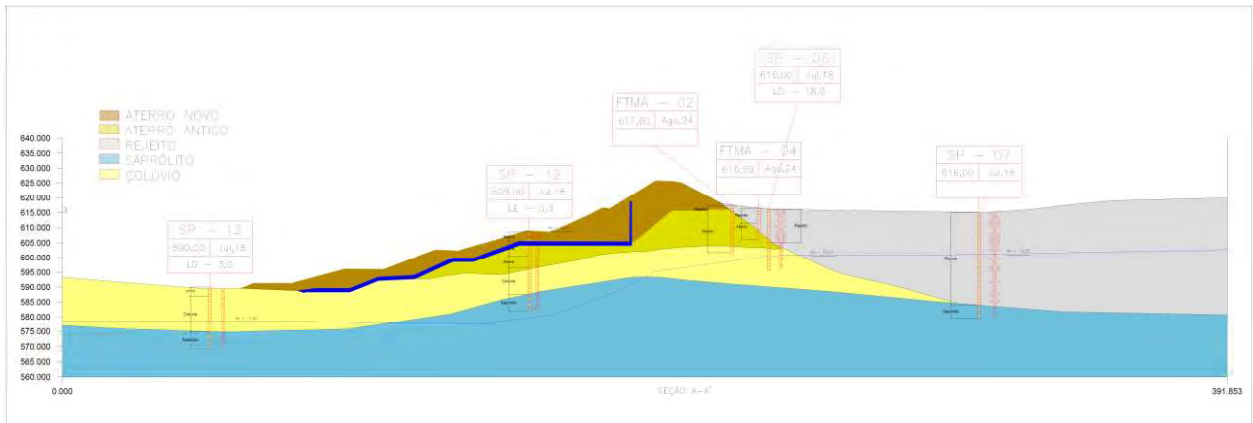


Figura 13 – Seção A – Perfil geológico geotécnico (NG-71-AI-MR-RL-R1).

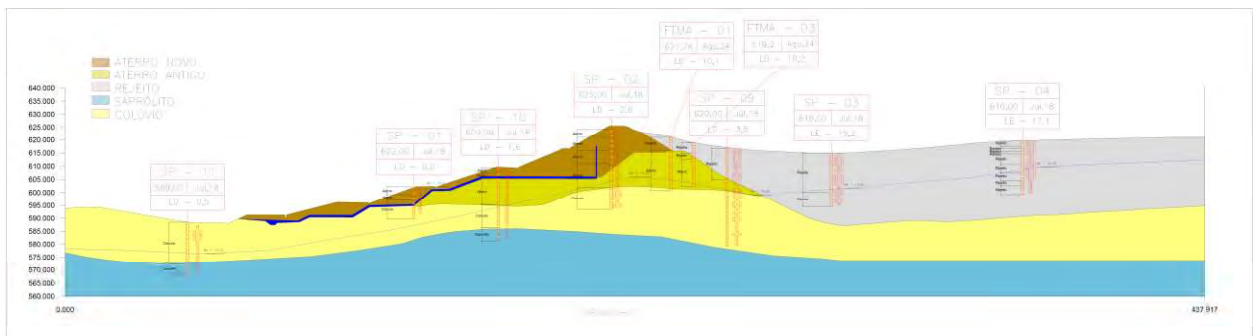


Figura 14 – Seção B – Perfil geológico geotécnico (NG-71-AI-MR-RL-R1).

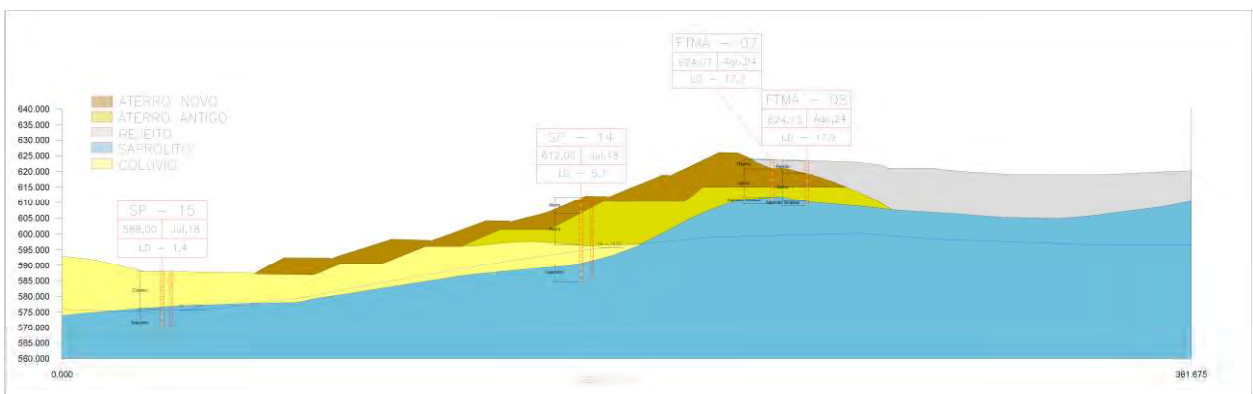


Figura 15 – Seção C – Perfil geológico geotécnico (NG-71-AI-MR-RL-R1).

As análises de estabilidade foram realizadas para as seções A (próximo à ombreira direita) e B (central, de maior altura, utilizando os níveis freáticos e piezométricos registrados nos últimos 6 meses.

As análises foram realizadas empregando-se os métodos de Morgenstern-Price, Spencer e Bishop, utilizando-se o software *Slide* v. 6.0, desenvolvido pela *Rocscience* Inc.

Os resultados obtidos das análises mostram fatores de segurança (FS) maiores do que o mínimo requerido em norma (NBR13028/2024), como mostrado nas tabelas 9 e 10. No Anexo III são apresentadas as figuras com as saídas do programa de estabilidade.

Tabela 9 – Resultados das análises de estabilidade – Seção A.

Método	Tipo de análise	Superfície	FS calculado	FS _{min}	Figura
GLE/Morgenstern-Price (MP)	drenada	circular	1,94	1,5	Anexo III.1
		não circular	1,90		Anexo III.2
	não drenada	circular	1,46	1,3	Anexo III.3
		não circular	1,37		Anexo III.4
	pseudo-estática	circular	1,24	1,1	Anexo III.5
		não circular	1,17		Anexo III.6
Spencer (S)	drenada	circular	1,94	1,5	Anexo III.7
		não circular	1,91		Anexo III.8
	não drenada	circular	1,47	1,3	Anexo III.9
		não circular	1,41		Anexo III.10
	pseudo-estática	circular	1,24	1,1	Anexo III.11
		não circular	1,18		Anexo III.12
Bishop (B)	drenada	circular	1,94	1,5	Anexo III.13
		não circular	1,90		Anexo III.14
	não drenada	circular	1,46	1,3	Anexo III.15
		não circular	1,36		Anexo III.16
	pseudo-estática	circular	1,23	1,1	Anexo III.17
		não circular	1,16		Anexo III.18

Tabela 10 – Resultados das análises de estabilidade – Seção B.

Método	Tipo de análise	Superfície	FS calculado	FS _{min}	Figura
GLE/Morgenstern-Price (MP)	drenada	circular	1,87	1,5	Anexo III.19
		não circular	1,85		Anexo III.20
	não drenada	circular	1,51	1,3	Anexo III.21
		não circular	1,40		Anexo III.22
	pseudo-estática	circular	1,25	1,1	Anexo III.23
		não circular	1,17		Anexo III.24
Spencer (S)	drenada	circular	1,87	1,5	Anexo III.25
		não circular	1,86		Anexo III.26
	não drenada	circular	1,51	1,3	Anexo III.27
		não circular	1,43		Anexo III.28

Método	Tipo de análise	Superfície	FS calculado	FS _{min}	Figura
	pseudo-estática	circular	1,25	1,1	Anexo III.29
		não circular	1,20		Anexo III.30
Bishop (B)	drenada	circular	1,88	1,5	Anexo III.31
		não circular	1,83		Anexo III.32
	não drenada	circular	1,51	1,3	Anexo III.33
		não circular	1,41		Anexo III.34
	pseudo-estática	circular	1,24	1,1	Anexo III.35
		não circular	1,17		Anexo III.36

Como podem ser observados, os fatores de segurança atendem ao mínimo recomendado.

11.2. GALGAMENTO

Durante a inspeção de campo não havia fluxo de água pelo extravasor ou obstruções do sistema vertente.

Conforme informações apresentadas no presente relatório, o sistema extravasor está adequado e o risco atual de galgamento é praticamente nulo.

Assim a barragem está operando dentro dos padrões de normalidade hidráulica e segurança em relação ao galgamento, e o projeto atende às exigências legais (NBR13028/2024).

11.3. EROSÃO INTERNA (PIPING)

A erosão interna ocorre quando há fluxos de fluidos descontrolados através de um maciço, promovendo o carreamento de sólidos.

No caso da ocorrência desse fenômeno, inicialmente seria possível notar a formação de uma “mancha” de umidade no talude de jusante, que evoluiria para uma surgência de água, de pequena vazão inicial. Com a erosão interna, a vazão da surgência aumentaria, aumentando a velocidade da erosão, e assim progressivamente, até que ocorresse a instabilização do maciço. Para o projeto em questão os critérios operacionais adotados (reduzido espelho d’água e sistema de drenagem interno) minimizam a possibilidade de ocorrência de “*piping*”.

Nas inspeções regulares efetuadas pelo empreendedor e pela Geoconsultoria não foram encontrados sinais de umidade nas faces dos taludes ou surgências.

O monitoramento (piezômetros e poços de monitoramento) mostram a funcionalidade do sistema de drenagem interno, conduzindo adequadamente o fluxo de infiltração de água.

Portanto, o risco de ocorrer erosão interna é baixo.

12. AUSCULTAÇÃO

O monitoramento da barragem é composto por medições de instrumentos (piezômetros, medidores de nível d'água, medidores de vazão dos drenos de fundo e drenos horizontais, régua de leitura do nível do reservatório, pluviometria e marcos superficiais) e inspeções de campo.

As medições dos instrumentos são efetuadas pela equipe da Nacional de Grafite, que as repassa para a Geoconsultoria, responsável por sua interpretação.

12.1. INSTRUMENTAÇÃO INSTALADA

Na barragem estão instalados e em funcionamento os seguintes instrumentos:

- 9 piezômetros tipo Casagrande (PZ's)
- 5 indicadores de nível d'água (MNA's)
- 5 medidores de vazão (MV's)
- 1 pluviômetro
- 7 marcos superficiais (MS's)

A locação dos instrumentos é mostrada no desenho GF34-DE-004. As seções de monitoramento são mostradas no desenho GF34-DE-005, atualizadas com a indicação do nível d'água interno registrado nas últimas leituras dos instrumentos.

As frequências mínimas estabelecidas para a aquisição dos dados dos instrumentos são as seguintes:

- Diária = pluviometria;
- Quinzenal = piezômetros (PZ's), medidores de nível d'água (MNA's), medidores de vazão (MV), marcos superficiais (MR's) e régua graduada do reservatório.

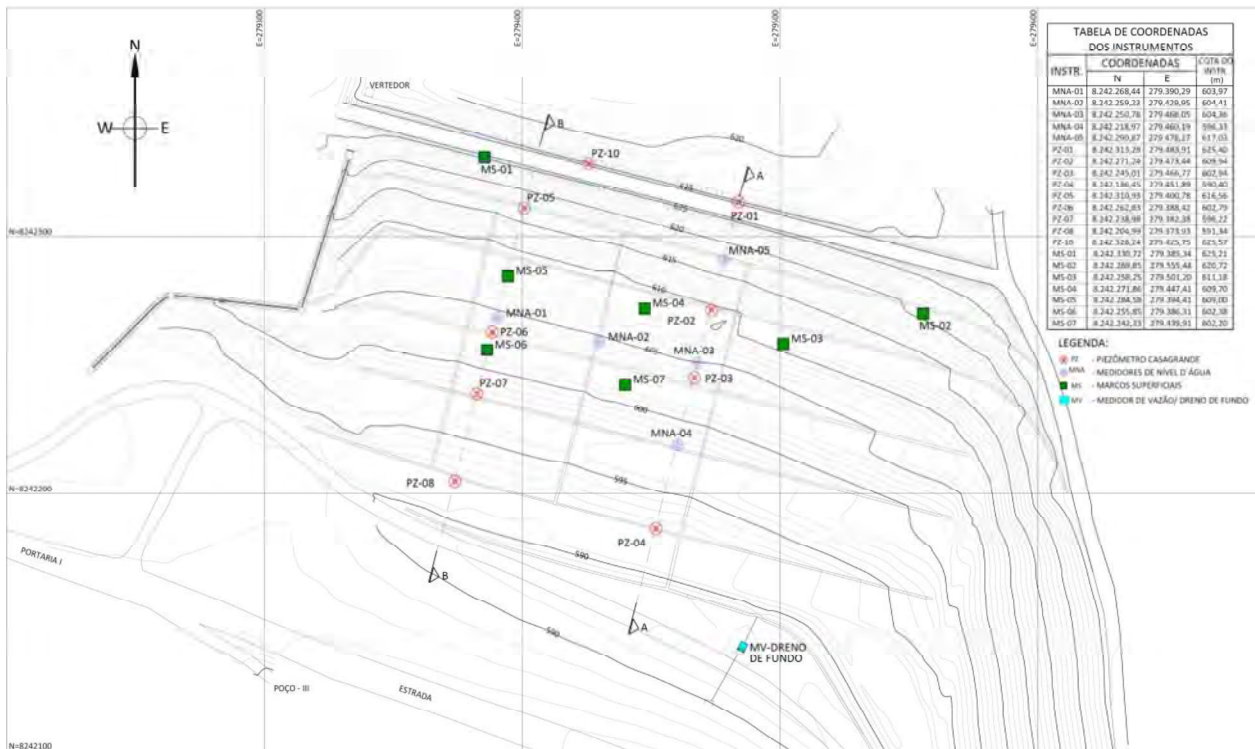


Figura 16 – Planta de localização do monitoramento – Barragem Marçu.

As figuras citadas nesse item, com os gráficos das medições dos instrumentos, são apresentadas no Anexo IV.

Na figura 1 são apresentados os dados de pluviometria, mensais e anuais, medidos diariamente desde o ano de 2004. Considerando-se o período chuvoso como compreendido entre os meses de outubro de determinado ano até março do ano subsequente, o histórico de chuvas na região da Unidade é o seguinte, entre os anos de 2006 e 2025:

- out/06 a mar/07: 951 mm
- out/07 a mar/08: 860 mm
- out/08 a mar/09: 544 mm
- out/09 a mar/10: 688 mm
- out/10 a mar/11: 767 mm
- out/11 a mar/12: 597 mm
- out/12 a mar/13: 539 mm
- out/13 a mar/14: 570 mm
- out/14 a mar/15: 654 mm
- out/15 a mar/16: 456 mm
- out/16 a mar/17: 805 mm
- out/17 a mar/18: 640 mm
- out/18 a mar/19: 725 mm
- out/19 a mar/20: 544 mm
- out/20 a mar/21: 601 mm
- out/21 a mar/22: 1007 mm

- out/22 a mar/23: 992 mm
- out/23 a mar/24: 720 mm
- out/24 a mar/25: 631 mm

Com base nestes dados pode-se observar que a precipitação média é de 701 mm.

O período chuvoso de 2021-2022 foi o maior do histórico registrado, com precipitação de 1008 mm. O menor registro de precipitação foi do período de 2015-2016, com precipitação de 456 mm. O presente período chuvoso apresentou precipitação diária máxima de 74 mm, registrada no dia 22/11/24, e maior precipitação acumulada no mês de nov/24, com 298 mm.

O reservatório não recebe mais polpa de rejeitos, estando o reservatório sem lâmina d'água.

Apenas 2 PZC's apresentam nível d'água (PZ-4 e 8), os demais estão secos (figura 2). Os níveis piezométricos medidos apresentam comportamento estável, mas com variações em função das chuvas.

Apenas o MNA-04 apresenta nível d'água, os demais estão secos (figura 3). O comportamento das leituras do MNA-04 é estável, mas com variações em função das chuvas.

As medições das vazões dos drenos que desaguam na caixa de coleta (DTp-01, DTp-02, DTp-04 e DT Soma) mostram comportamentos médios estáveis, com oscilações em resposta à pluviometria (figura 4). Os DTp-01 e DTp-02 representam vazões da região de pé da barragem, já o DT Soma representa as vazões dos drenos de alívio. O DTp-04 representa a vazão da drenagem interna da barragem.

A saída de drenagem DTp-02 está seca. A saída DT Soma apresenta vazão, entretanto, a vazão registrada é de contribuição local, visto que os drenos de alívio estão secos.

As vazões médias dos drenos DTp-01 e DTp-04 são de 0,24 e 0,10 m³/h, respectivamente, com estabilidade e variações pontuais.

Todos os MS's apresentaram comportamento estável, tanto vertical, como horizontal (figura 5).

13. CARTA DE RISCO/NÍVEIS DE REFERÊNCIA

Os níveis de referência para as medições dos instrumentos são estabelecidos para os possíveis modos de ruptura da barragem, quais sejam: galgamento, erosão interna e cisalhamento. A seguir estes modos serão discutidos e indicados os níveis de referência, para várias situações de segurança da barragem.

São definidos 3 níveis de segurança: normal, alerta e emergência.

O nível NORMAL é aquele em que:

- o valor medido se situa dentro da faixa histórica do comportamento; ou,
- o valor medido está fora da faixa histórica, mas está respondendo a causas conhecidas e controladas.

O nível ALERTA é aquele em que:

- o valor medido se situa fora da faixa histórica, as causas não foram identificadas, mas as medições não mostram evolução; ou,
- as causas foram identificadas, foram tomadas ações mitigadoras, não estão surtindo efeito e as medições mostram evolução.

O nível de EMERGÊNCIA é aquele que:

- as causas foram identificadas, foram tomadas ações mitigadoras, mas não estão surtindo efeito; as medições mostram evolução e a situação pode levar à ruptura da barragem.

Galgamento

Pelo exposto em itens anteriores, o modo de ruptura por galgamento pode ser descartado, pela elevada segurança hidráulica, mesmo em caso em que ocorra alguma obstrução do extravasor. Não obstante, podem ser estabelecidos os seguintes valores de referência para o nível d'água do reservatório:

- Nível normal = até 623,25 m
- Nível de alerta = até 624,00 m
- Nível de emergência = até 624,20 m

Erosão interna

Para o modo de ruptura por erosão interna não há elementos para associá-la com níveis piezométricos ou outro tipo de instrumentação. Neste caso vale a inspeção visual, para identificação de surgências nos taludes ou no terreno de fundação, e verificação de carreamento de sólidos, que pode ser medido ou com uso de peneiras de abertura pequena (tipo malha 200 ou 325), ou avaliado com base em medida de turbidez.

Neste caso, podem ser associadas as seguintes situações, com os níveis de segurança:

- Nível normal = inspeção não indica nenhuma feição de erosão interna
- Nível de alerta = inspeção indica surgências no talude da barragem ou no terreno de fundação, com carreamento de material
- Nível de emergência = a vazão está aumentando, a quantidade de sólidos carreados está aumentando, as ações tomadas para controlar a ocorrência não surtem efeito, e a evolução do processo pode levar à ruptura da barragem.

Deformação

As referências serão adotadas em função dos valores máximos e mínimos registrados para as elevações.

Estes valores foram calculados como segue: foram anotados os valores máximos e mínimos das cotas dos marcos; foi calculada a diferença entre estes valores, para cada marco; foi calculado o valor médio medido das cotas para cada marco; ao valor médio foi somada a 60% da diferença verificada, significando que o valor esperado poderá estar dentro da faixa de variação, para mais ou para menos, do que se verificou no corrente ano.

Assim, os níveis de segurança podem ser definidos como:

- Nível normal – o valor medido da cota está dentro do intervalo
- Nível de alerta – o valor medido da cota está fora do intervalo, ou ainda, mesmo que dentro do intervalo, vem mostrando tendência de redução da cota
- Nível de emergência – a tendência se pronuncia, primeiro com velocidade constante e, depois, com velocidade aumentada (aceleração).

Ao se observar que as medições se enquadram nos níveis de alerta ou emergência, as medições devem passar para frequência diária, acompanhadas de inspeção de campo.

Tabela 11 – Faixa de valores – MS's.

MS	Valores medidos			Faixa de valores	
	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo
MS 01	625,254	625,201	625,2097	625,2415	625,1779
MS 02	620,737	620,699	620,7133	620,7361	620,6905
MS 03	611,19	611,155	611,1731	611,1941	611,1521
MS 04	609,734	609,695	609,7003	609,7237	609,6769
MS 05	609,04	608,99	608,9992	609,0292	608,9692
MS 06	602,413	602,366	602,379	602,4072	602,3508
MS 07	602,229	602,196	602,2053	602,2251	602,1855

Os valores da tabela podem ser considerados como os níveis de referência, no que tange ao critério de deformação ou recalques, de maneira mais específica.

Para deformações decorrentes de cisalhamento, com formação de trincas, os níveis acima não devem servir de referência, pois o mecanismo de desenvolvimento e os valores dos deslocamentos são distintos, não havendo modelos para se fixar os valores limites. Aqui as inspeções de campo têm papel importante, no reconhecimento de deformações que possam representar casos de colapso.

Cisalhamento

Para o estabelecimento dos níveis de referência dos piezômetros e indicadores de nível d'água, foi utilizada a seção A como referência. Os níveis de segurança foram definidos para os seguintes intervalos de valores dos fatores de segurança (FS):

- Normal $FS \geq 1,5$
- Alerta $1,3 < FS < 1,5$
- Emergência $1,1 < FS < 1,3$

Para esta seção foram analisadas as estabilidades do talude, com a condição atual dos níveis d'água, e para as condições em que o nível d'água foi sendo elevado até resultar em fatores de segurança iguais a 1,1, 1,3 e 1,5.

As análises foram calculadas para condições drenadas, estáticas, por equilíbrio limite, com o método de Morgenstern-Price, por ser o mais rigoroso na interação das forças e momentos atuantes.

A tabela 12 apresenta os intervalos de valores correspondentes aos níveis de referência, para os instrumentos da seção A, de maior altura.

Tabela 12 – Faixa de valores – INA's e PZ's.

Seção	Instrumento	Cota do nível d'água (m)		
		Normal (FS > 1,5)	Alerta (1,3 < FS < 1,5)	Emergência (1,1 < FS < 1,3)
A	PZ-010	≤ 620,83	> 620,83 e ≤ 623,36	> 623,36 e ≤ 625,31
	PZ-05	≤ 613,37	> 613,37 e ≤ 614,94	> 614,94 e ≤ 615,63
	MNA-01	≤ 601,27	> 601,27 e ≤ 602,84	> 602,84 e ≤ 603,80
	PZ-06	≤ 600,23	> 600,23 e ≤ 600,85	> 600,85 e ≤ 602,16
	PZ-07	≤ 594,01	> 594,01 e ≤ 594,67	> 594,67 e ≤ 595,83
	PZ-08	≤ 589,85	> 589,85 e ≤ 590,20	> 590,20 e ≤ 590,97
B	PZ-01	≤ 619,67	> 619,67 e ≤ 620,99	> 620,99 e ≤ 623,16
	MNA-05	≤ 610,35	> 610,35 e ≤ 611,71	> 611,71 e ≤ 612,59
	PZ-02	≤ 605,73	> 605,73 e ≤ 606,65	> 606,65 e ≤ 607,90
	MNA-02	≤ 598,49	> 598,49 e ≤ 599,70	> 599,70 e ≤ 601,30
	MNA-03	≤ 598,49	> 598,49 e ≤ 599,70	> 599,70 e ≤ 601,30
	PZ-03	≤ 596,78	> 596,78 e ≤ 597,74	> 597,74 e ≤ 599,96
	MNA-04	≤ 591,53	> 591,53 e ≤ 592,78	> 592,78 e ≤ 594,52
	PZ-04	≤ 588,38	> 588,38 e ≤ 589,59	> 589,59 e ≤ 590,25

Esta tabela, normalmente denominada como “carta de risco”, no entendimento da Geoconsultoria não tem significado em termos de estabilidade, na forma como se solicita sua estruturação. A própria designação não é correta, pois não se trata de avaliar riscos.

Ocorre que a estabilidade de um talude ou, no caso, da barragem, é afetada pela variação de toda a superfície freática e não pela variação de cada instrumento isoladamente. Ou seja, se a cota do nível de água de um piezômetro for elevada acima dos valores indicados na tabela 12, sem alteração dos demais na seção considerada, o coeficiente de segurança resultante

certamente não corresponderá aos limites dos níveis de segurança indicados na tabela 12. Dessa forma, essas informações devem ser utilizadas associadas aos outros ferramentais disponíveis para a avaliação de segurança, como os dados de projeto, inspeções de campo e acompanhamento continuado do monitoramento.

Os níveis medidos dos instrumentos estão dentro da faixa considerada normal.

14. SEGURANÇA OPERACIONAL

Quando em período operacional, a metodologia utilizada para o lançamento de rejeitos era por via úmida, com bombeamento de rejeitos total a partir da cabeceira do reservatório, de modo a manter o espelho de água do reservatório mais próximo ao extravasor de superfície.

Como descrito, atualmente, a barragem não recebe rejeitos, somente água de chuva.

A barragem é acompanhada pela Geoconsultoria, de maneira contínua. O acompanhamento prevê a avaliação da instrumentação e das inspeções de campo, caracterizando a segurança e a estabilidade da estrutura.

O monitoramento geotécnico é composto pelas atividades de inspeção de campo e de leitura dos instrumentos instalados na estrutura. A descrição detalhada destas atividades já foi apresentada ao longo desse relatório.

As inspeções de campo quinzenais, formais, são registradas em formulários específicos para a barragem. As leituras dos instrumentos são inseridas na planilha de monitoramento, que gera os gráficos de acompanhamento apresentados no Anexo IV.

Em caso de detecção de qualquer anormalidade na inspeção de campo ou na leitura de algum instrumento, por parte do operador da barragem, é realizado um contato imediato com a Geoconsultoria, que analisa o fato também de maneira imediata.

Caso não forem detectadas anomalias, as fichas de inspeção de campo e a planilha de monitoramento são enviadas assim que atualizadas para análise por parte da Geoconsultoria.

De posse dos dados do monitoramento, a Geoconsultoria executa a avaliação mensal do comportamento da barragem. Mensalmente é emitido um parecer formal que avalia a segurança da mesma. É também avaliado o andamento das ações recomendadas para manutenção da boa condição de segurança da estrutura. Em função desta análise conjunta, a Geoconsultoria classifica a condição de segurança da barragem com base em critérios próprios.

A avaliação mensal, documento técnico, é enviada à equipe de segurança da estrutura e à Gerência Geral da Unidade. Um resumo da avaliação, em forma de Farol, é encaminhado em seguida para a Diretoria Corporativa da Nacional de Grafite.

A metodologia de avaliação da segurança atualmente empregada é continuada, pois possibilita que eventuais problemas com a estrutura sejam detectados rapidamente, permitindo ações imediatas e impedindo-os de evoluir. Dessa forma, tem-se uma gestão preventiva de segurança da barragem.

15. AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA

A Geoconsultoria, em vista da Avaliação de Segurança conduzida para a referida estrutura, para os dados de monitoramento dos últimos seis meses, é de parecer que as condições de segurança hidráulica e de estabilidade física do maciço, estabelecidos pela NBR13028/2024, são adequadas.

Não obstante a este parecer, são recomendadas as seguintes ações:

- O combate às pragas (formigueiros e cupinzeiros) deverá continuar sendo executado na rotina da Unidade - Rotina (Prazo: 30/08/25 até 30/08/26);
- Manter a crista e os taludes da barragem roçados e limpos, de maneira a permitir uma adequada inspeção de campo - Rotina (Prazo: 30/08/25 até 30/08/26);
- Manter limpo o emboque do extravasor - Rotina (Prazo: 30/08/25 até 30/08/26);
- Manter as ações de monitoramento - inspeções de campo quinzenais e medição dos instrumentos - Rotina (Prazo: 30/08/25 até 30/08/26).

São Paulo, 29 de agosto de 2025.

Assinado por:

Renato Capucho Reis

BF4B12137F7448E...

Eng.º Renato Capucho Reis
CREA MG 0000073932D

ANEXO I – CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM – DECRETO MG 48.140, DE 25/02/2021

NOME DA BARRAGEM	BARRAGEM MARÇU		
NOME DO EMPREENDEDOR	NACIONAL DE GRAFITE LTDA		
DATA	30/08/2024		

I.1 - CATEGORIA DE RISCO - CRI

		Pontos	
1	Características Técnicas (CT)	8	
2	Estado de Conservação (EC)	0	
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	2	
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS		10	BAIXO

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI	
		INDÚSTRIA	MINERAÇÃO
ALTO		≥ 65 OU EC=10*	≥ 65 OU EC=10*
MÉDIO		37 < CRI < 65	37 < CRI < 65
BAIXO		≤ 37	≤ 37

(*) Pontuação (10) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

I.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO

		Pontos	
POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL (PDA)		6	BAIXO

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL	PDA	
		RESÍDUOS / REJEITOS	ÁGUA
ALTO		≥ 13	≥ 13
MÉDIO		7 < DPA < 13	10 < DPA < 13
BAIXO		≤ 7	≤ 7

RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:

CATEGORIA DE RISCO	BAIXO
POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL	BAIXO
CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM	E

		POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL		
		ALTO	MÉDIO	BAIXO
CATEGORIA DE RISCO	ALTO	A	B	C
	MÉDIO	B	C	D
	BAIXO	B	C	E

1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT				
Altura (a)	Comprimento (b)	Vazão de Projeto (c)	Método Construtivo (d)	Auscultação (e)
Altura ≤ 10 m (0)	Comprimento ≤ 50 m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilar (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)
10 m < Altura < 30 m (1)	50 m < Comprimento < 200 m (1)	Mlenar (2)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)
30 m ≤ Altura ≤ 60 m (4)	200 ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)
Altura > 60 m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR inferior a 500 anos ou Desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento a montante ou desconhecido ou que já tenha sido atingida a montante ao longo do ciclo de vida da estrutura (10)	Barragem não instrumentada, em desacordo com o projeto (8)
Indique abaixo a Pontuação da Barragem para cada coluna				
4	2	0	2	0
2 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC				
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (f)	Percolação (g)	Deformações e Recalques (h)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (i)	
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal /barragem sem necessidade de estruturas extravasoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)	(0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva (2)	(2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferragem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	(6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	(10)
Indique abaixo a Pontuação da Barragem para cada coluna				
0	0	0	0	0
3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PSB				
Documentação de Projeto (j)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (k)	Procedimentos para inspeções de segurança e monitoramento (l)	Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (m)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (n)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança (2)
Projeto "como está" (3)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento (4)
Projeto Básico (5)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual (6)
Projeto conceitual (8)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Análise de Segurança (8)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	-
Indique abaixo a Pontuação da Barragem para cada coluna				
2	0	0	0	0
4 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL - PDA				
Volume Total do Reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto sócio-econômico (d)	
MUITO PEQUENO <= 1 milhão m³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transilando na área afetada a jusante da barragem) (0)	INSIGNIFICANTE (área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B - inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)	(0)
PEQUENO 1 milhão a 5 milhões m³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (3)	POUCO SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B - inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	BADIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)	(1)
MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m³ (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B - inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (6)	MÉDIO (existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)	(3)
GRANDE 25 milhões a 50 milhões m³ (4)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A - Não inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (8)	ALTO (existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)	(5)
MUITO GRANDE >= 50 milhões m³ (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	-	(10)
Indique abaixo a Pontuação da Barragem para cada coluna				
2	3	0	1	

ANEXO II – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO



Foto 1 - Crista da barragem - Vista para a ombreira direita.



Foto 2 - Crista da barragem - Vista para a ombreira esquerda.



Foto 3 – Reservatório.



Foto 4 – Talude de montante - Vista para a ombreira direita.



Foto 5 – Talude de montante - Vista para a ombreira esquerda.



Foto 6 – Emboque do extravasador.



Foto 7 – Desemboque do extravasor.



Foto 8 – Canal extravasor em degraus.



Foto 9 – Canal extravasor em degraus.



Foto 10 – Canal extravasor em degraus.



Foto 11 – Talude de jusante - Vista para a ombreira direita.



Foto 12 – Talude de jusante - Vista para a ombreira esquerda.



Foto 13 – Talude de jusante – Face entre as cotas 616 e 625 - Vista para a ombreira esquerda.



Foto 14 – Talude de jusante – Berma da cota 616 - Vista para a ombreira direita.



Foto 15 – Talude de jusante – nova descida d’água em degraus conectando as drenagens das bermas 608 e 616 (est. 9).



Foto 16 – Talude de jusante – Face entre as cotas 608 e 616 - Vista para a ombreira direita.



Foto 17 – Talude de jusante – Berma da cota 608 - Vista para a ombreira esquerda.



Foto 18 – Talude de jusante – nova descida d'água em degraus conectando as drenagens das bermas 601 e 608 (est. 12).



Foto 19 – Talude de jusante – Face entre as cotas 601 e 608 - Vista para a ombreira esquerda.



Foto 20 – Talude de jusante – Berma da cota 601 - Vista para a ombreira direita.



Foto 21 – Talude de jusante – nova descida d’água em degraus conectando as drenagens das bermas 595 e 601 (est. 9).



Foto 22 – Talude de jusante – Face entre as cotas 595 e 601 - Vista para a ombreira direita.



Foto 23 – Talude de jusante – Berma da cota 595 - Vista para a ombreira direita.



Foto 24 – Talude de jusante – nova descida d’água em degraus conectando as drenagens das bermas 590 e 595 (est. 6).



Foto 25 – Talude de jusante – Face entre as cotas 590 e 595 - Vista para a ombreira esquerda.



Foto 26 – Talude de jusante – Berma da cota 590 - Vista para a ombreira direita.

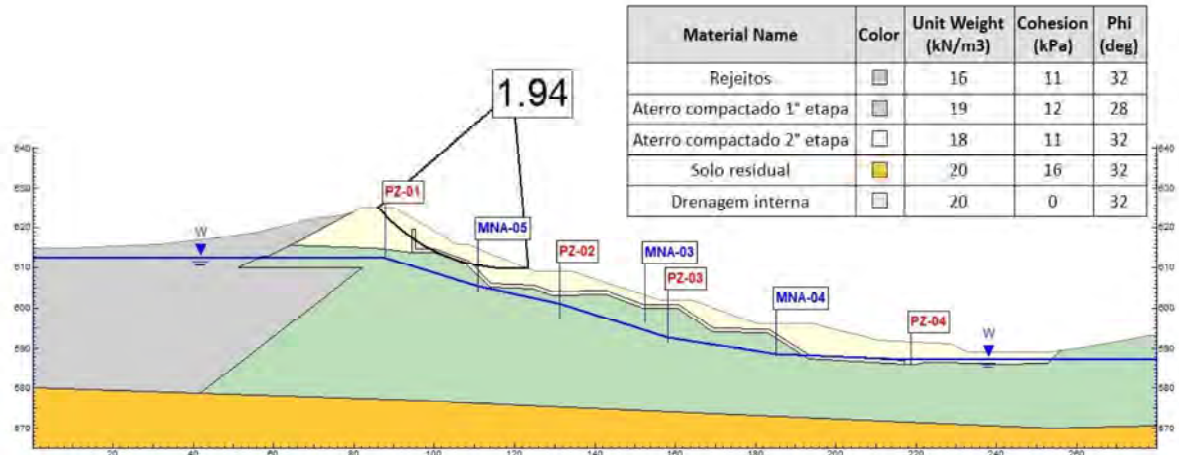


Foto 27 – Talude de jusante –Vista frontal.

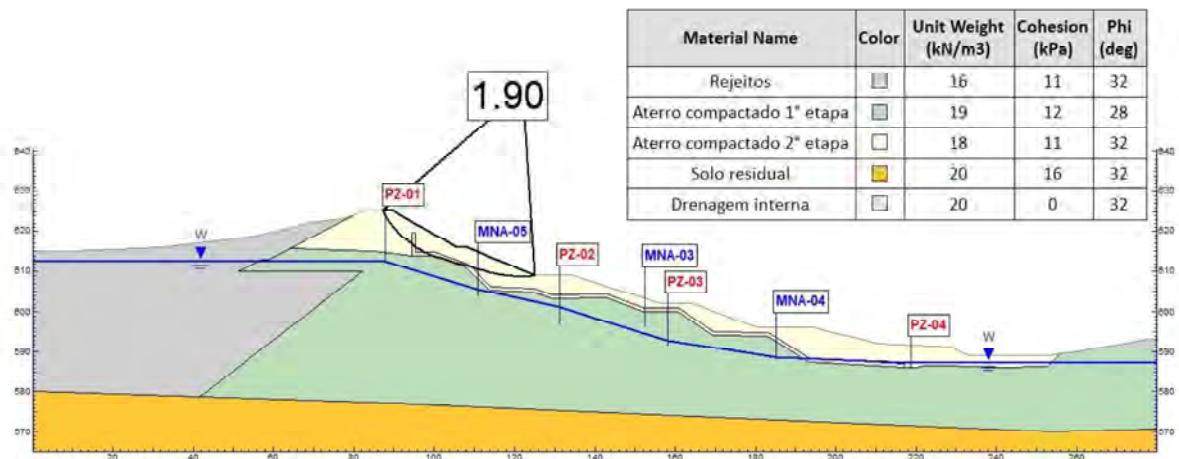


Foto 28 – Caixa de coleta dos Drenos.

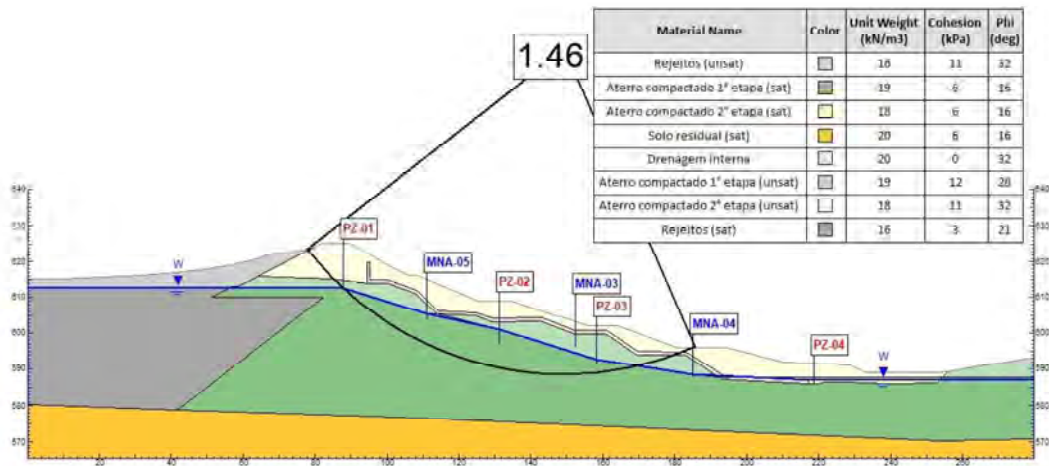
ANEXO III – SAÍDAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE



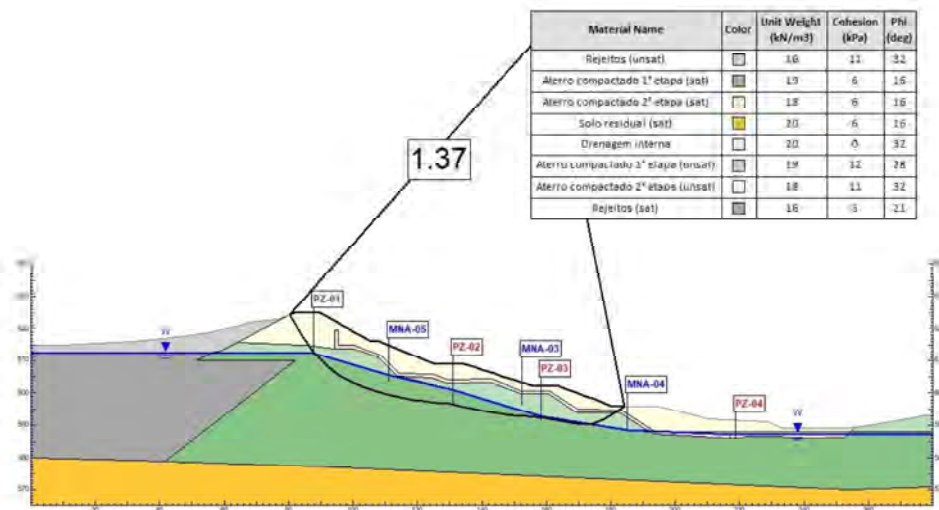
Anexo III 1 – Análise de estabilidade – Seção A – resistência drenada circular – MP



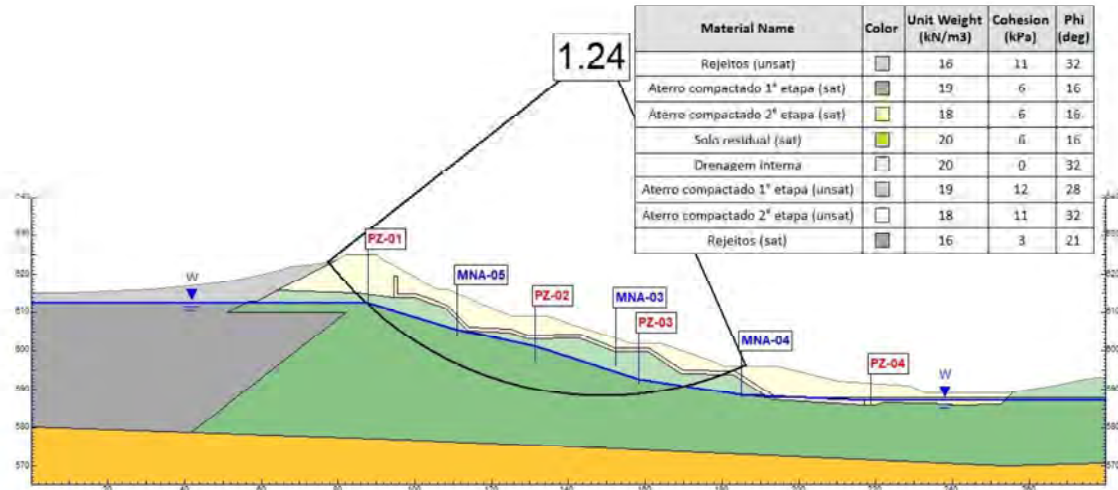
Anexo III 2 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência drenada não circular – MP



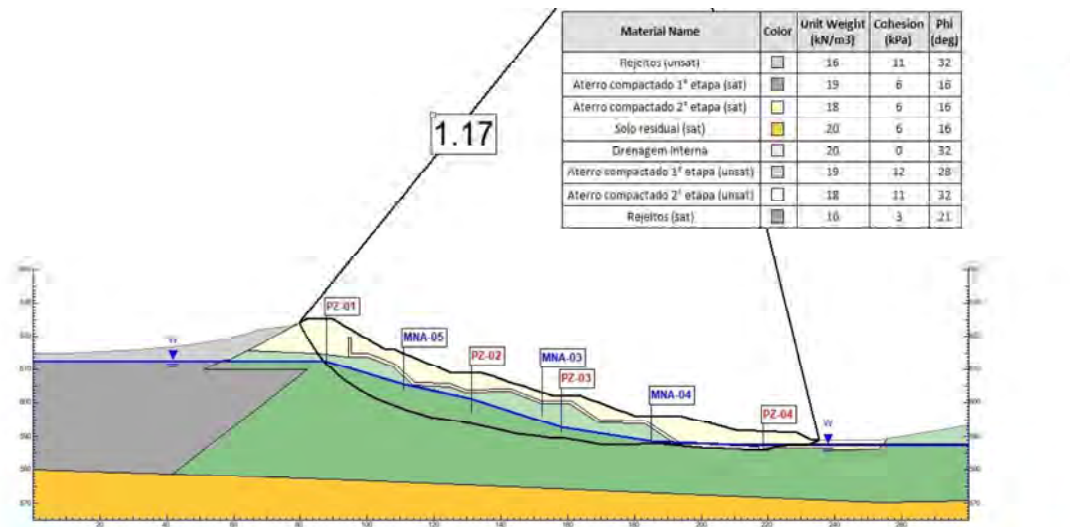
Anexo III 3 – Análise de estabilidade – Seção A – resistência não drenada circular – MP



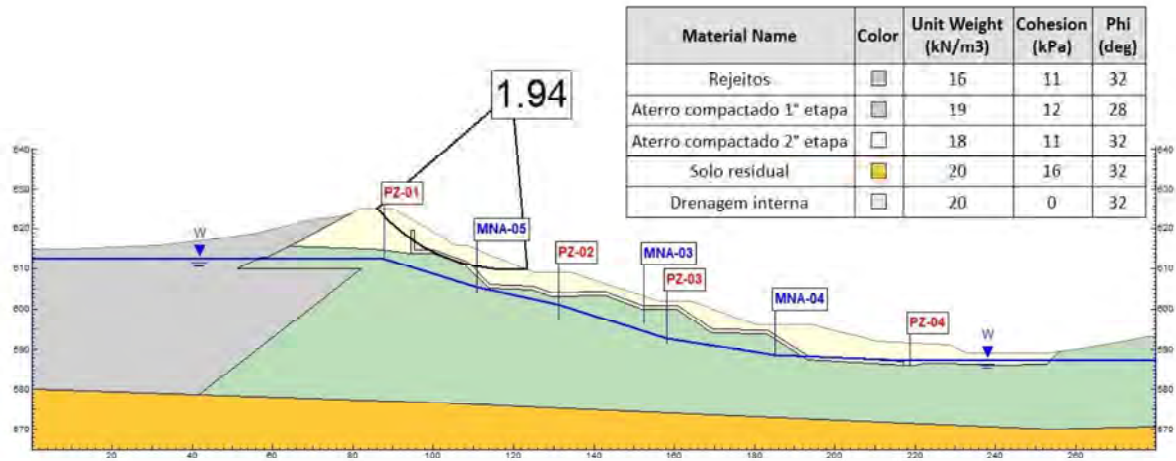
Anexo III 4 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência não drenada não circular – MP



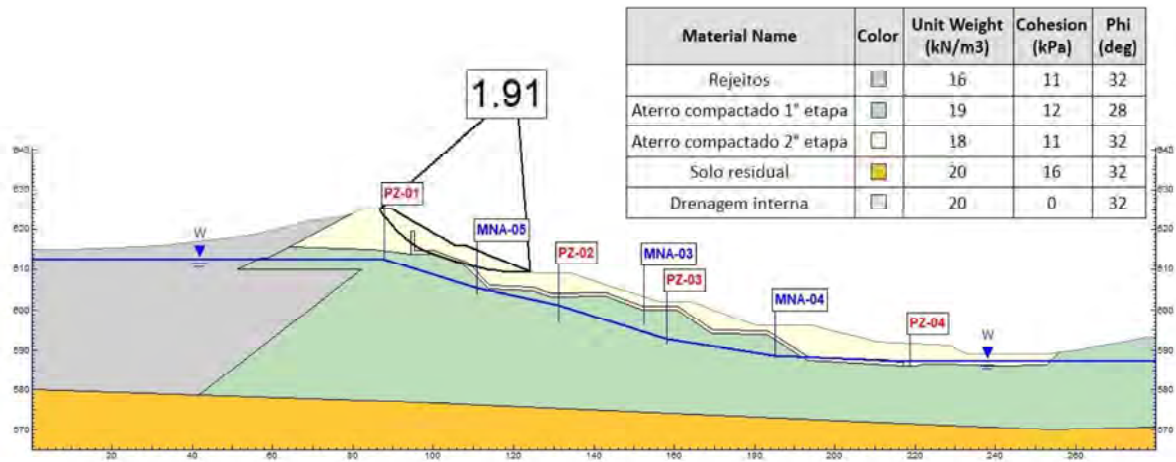
Anexo III 5 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência pseudo-estática circular – MP



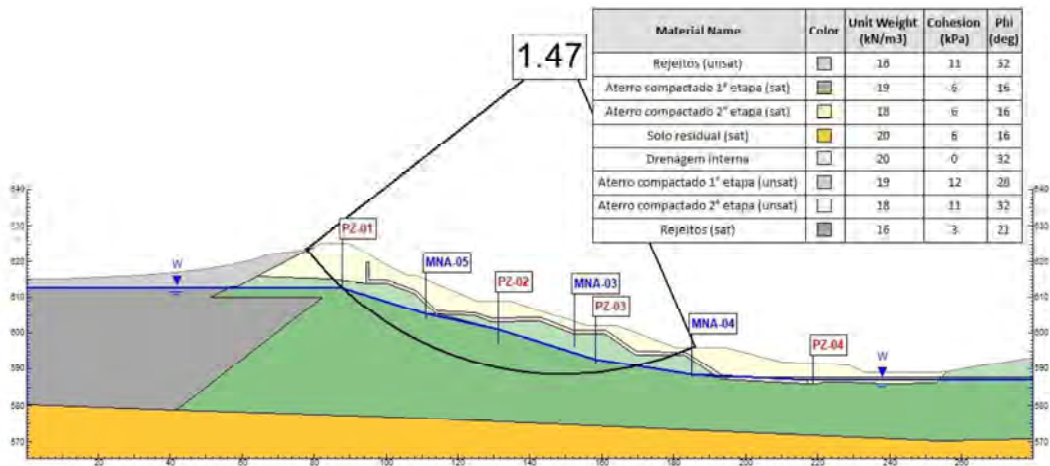
Anexo III 6 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência pseudo-estática não circular – MP



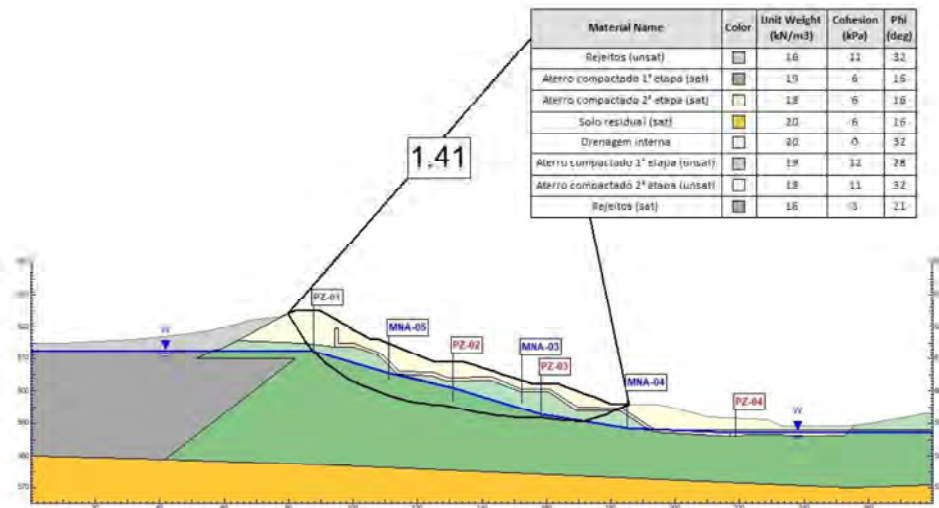
Anexo III 7 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência drenada circular – S



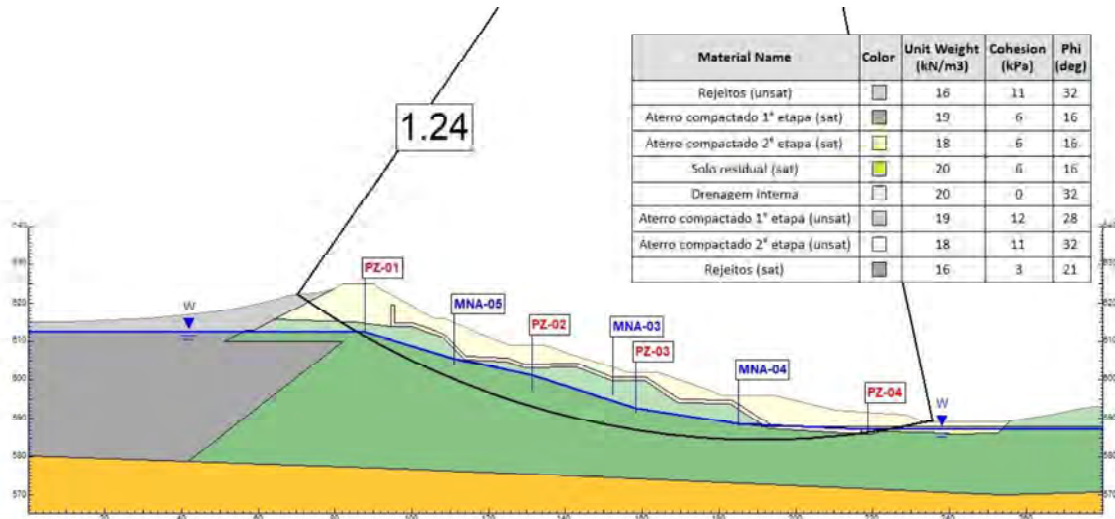
Anexo III 8 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência drenada não circular – S



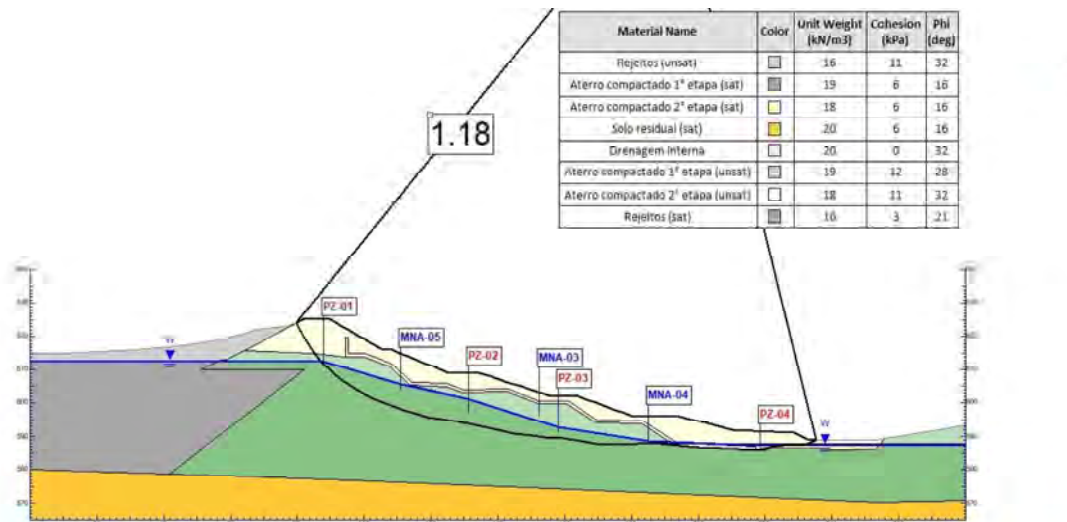
Anexo III 9 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência não drenada circular – S



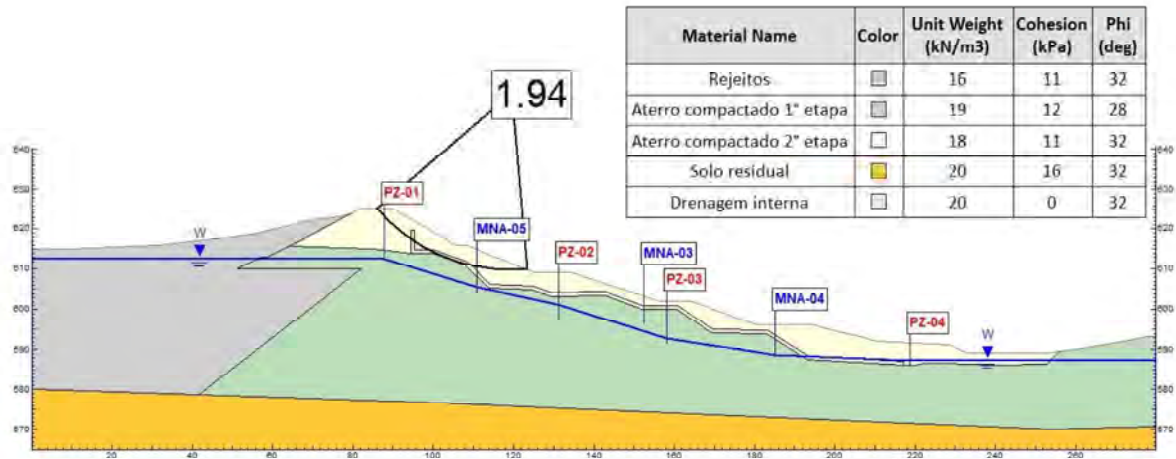
Anexo III 10 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência não drenada não circular – S



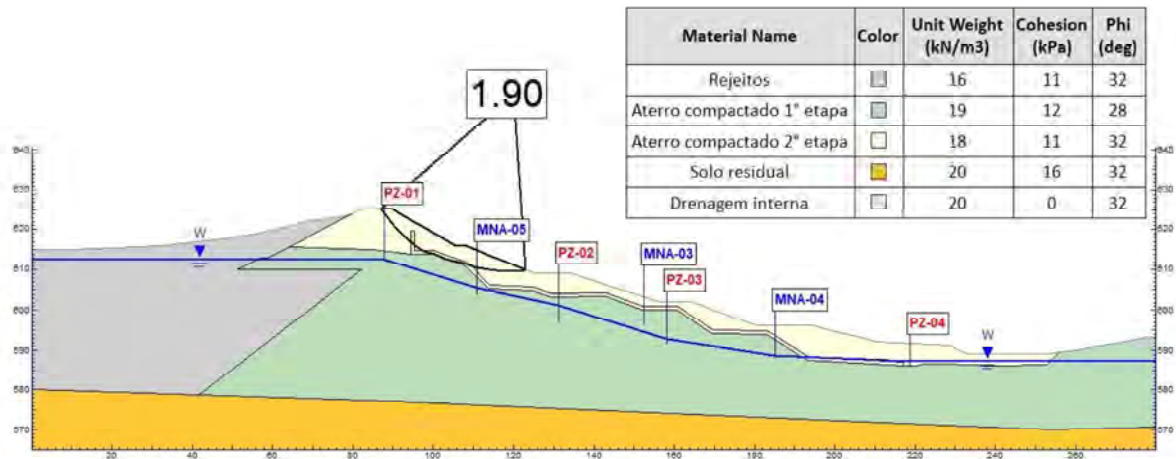
Anexo III 11 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência pseudo-estática circular – S



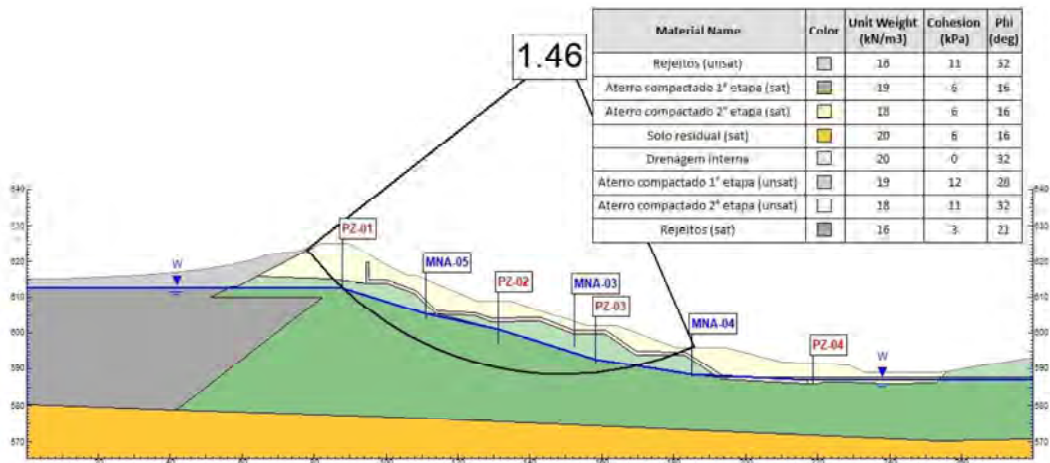
Anexo III 12 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência pseudo-estática não circular – S



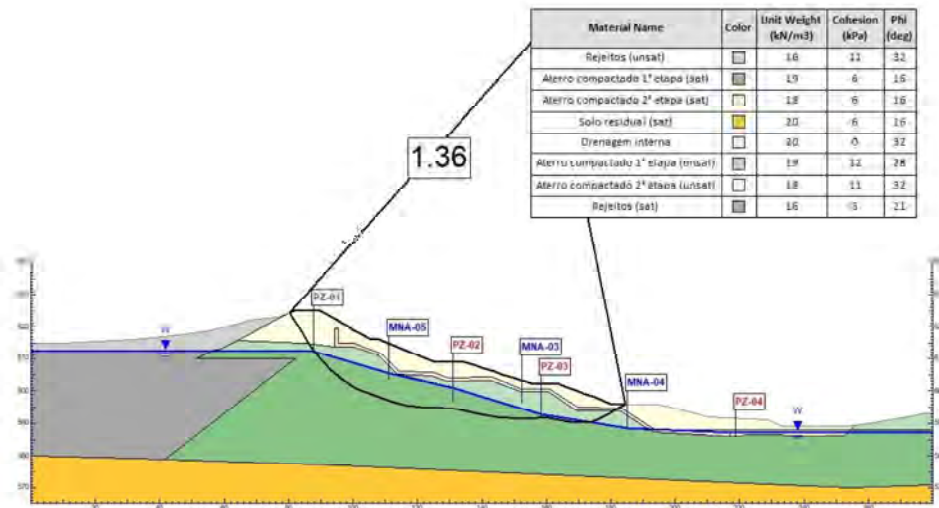
Anexo III 13 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência drenada circular – B



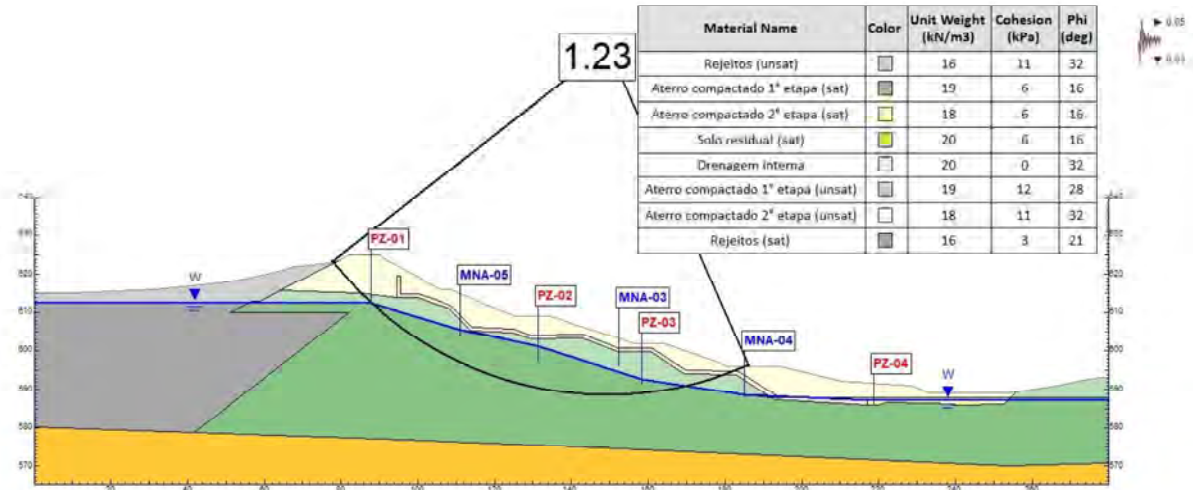
Anexo III 14 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência drenada não circular – B



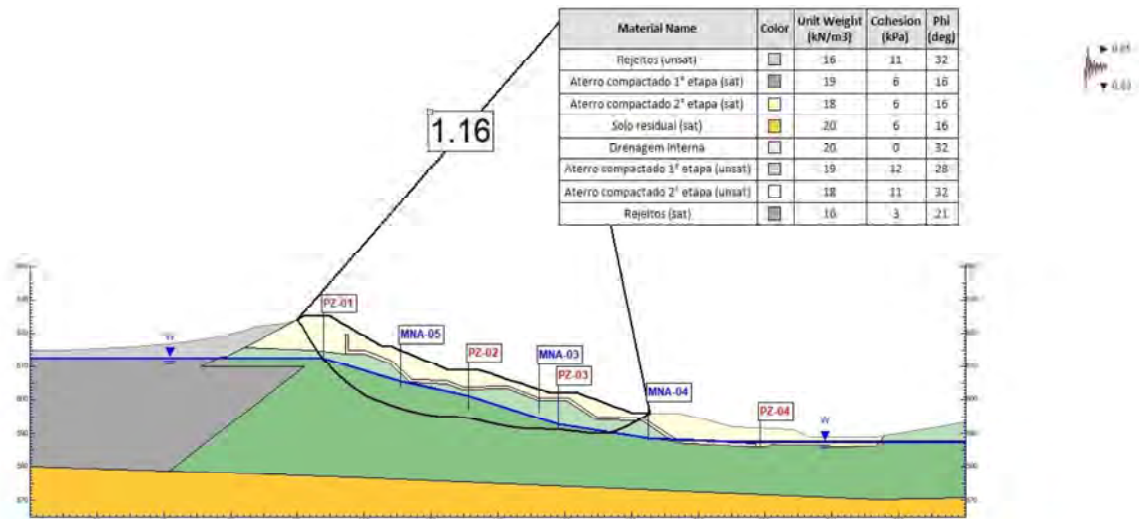
Anexo III 15 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência não drenada circular – B



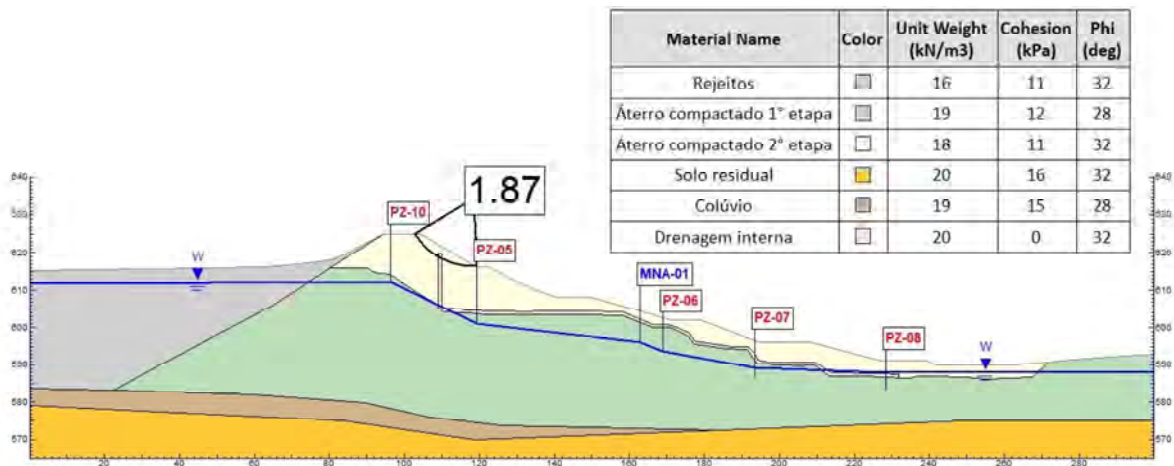
Anexo III 16 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência não drenada não circular – B



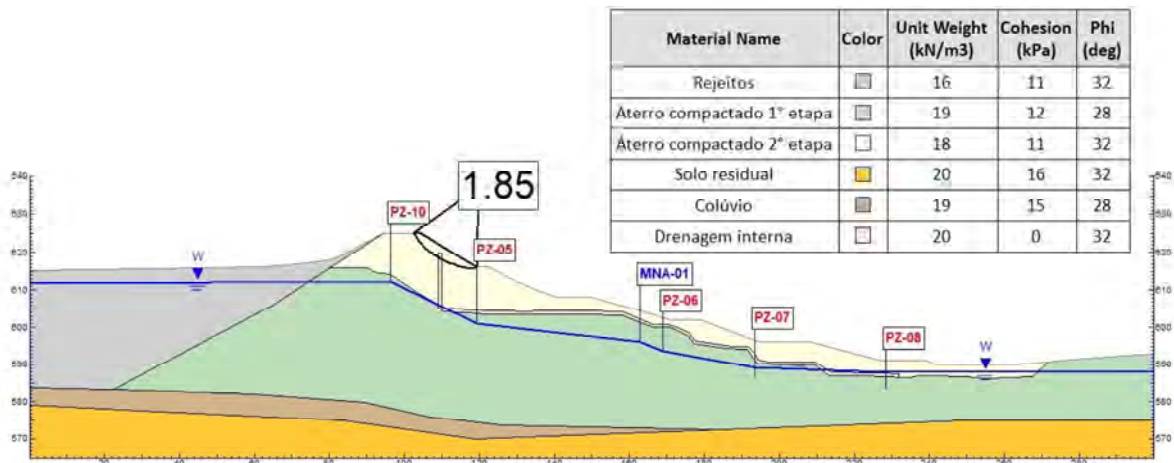
Anexo III 17 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência pseudo-estática circular – B



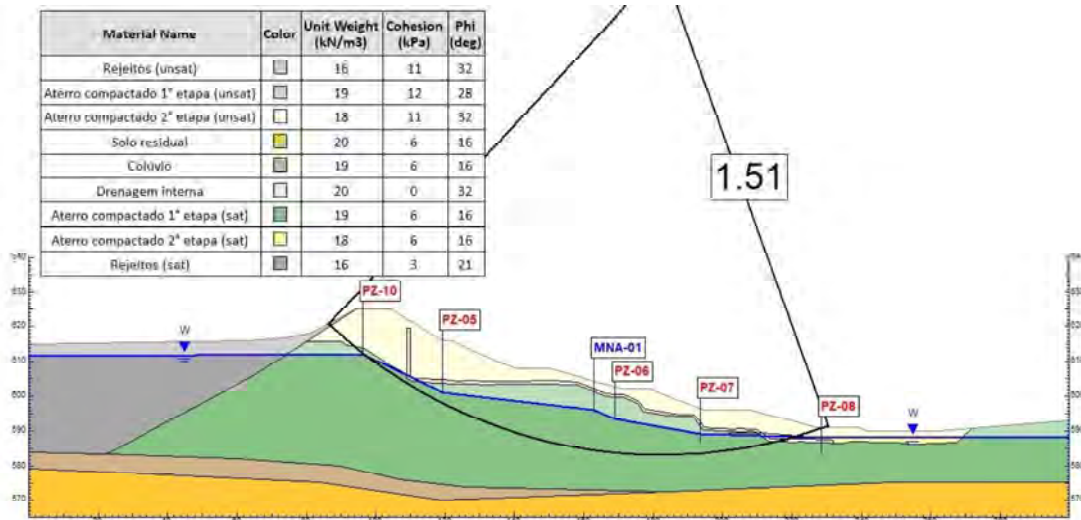
Anexo III 18 - Análise de estabilidade – Seção A – resistência pseudo-estática não circular – B



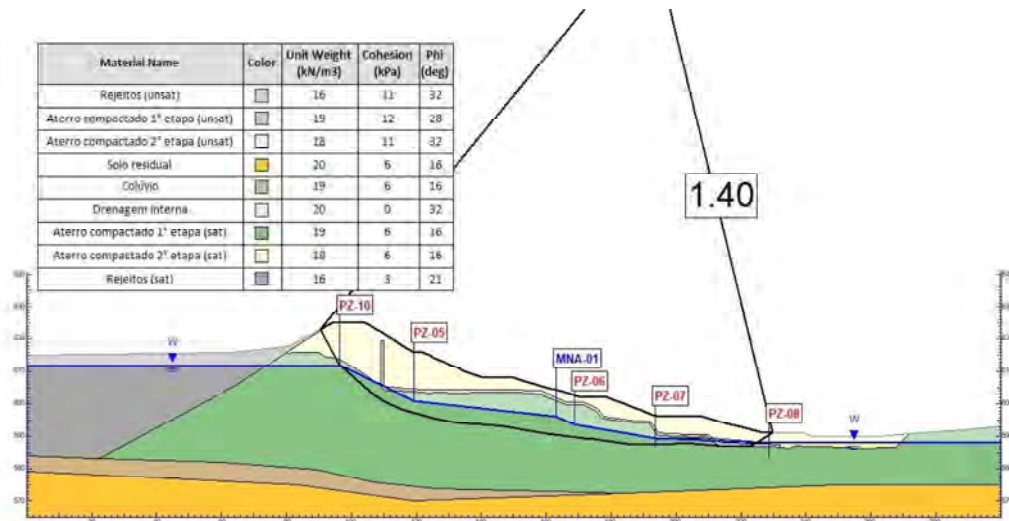
Anexo III 19 – Análise de estabilidade – Seção B – resistência drenada circular – MP



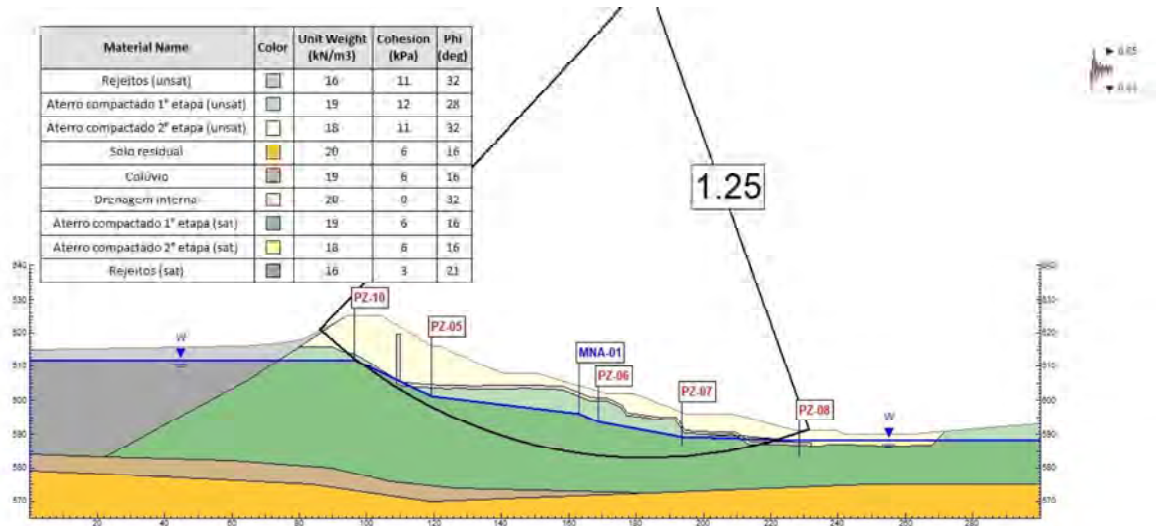
Anexo III 20 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência drenada não circular – MP



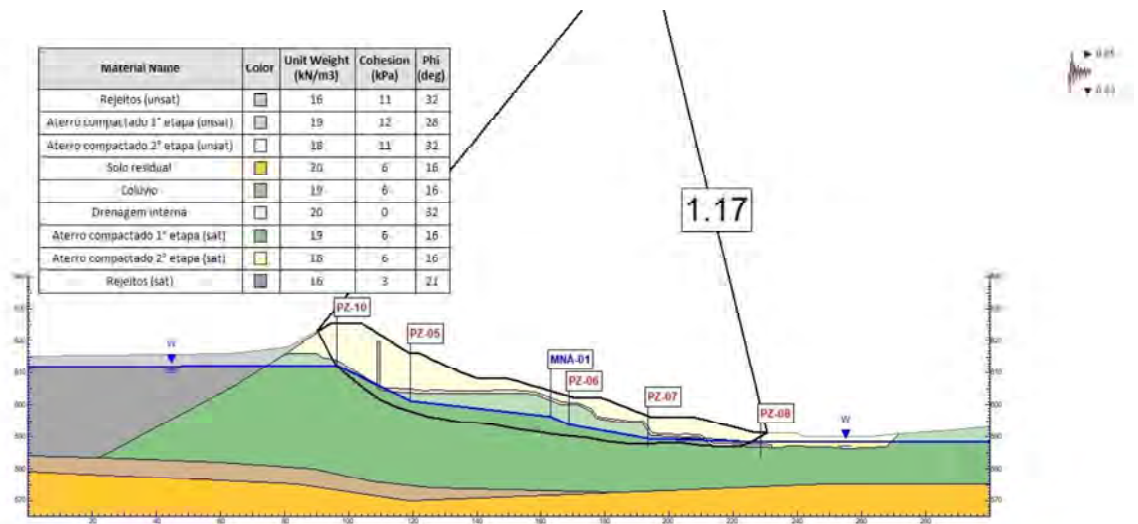
Anexo III 21 – Análise de estabilidade – Seção B – resistência não drenada circular – MP



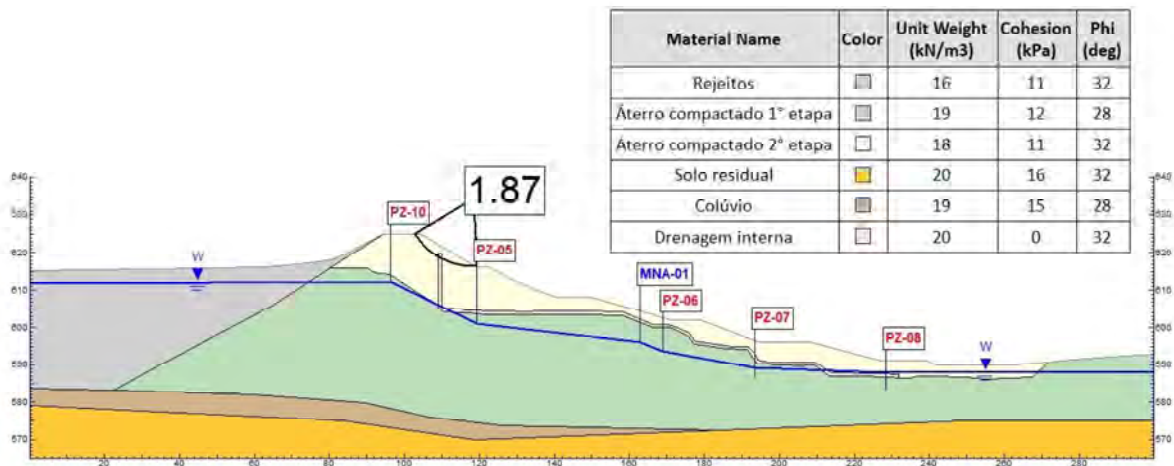
Anexo III 22 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência não drenada não circular – MP



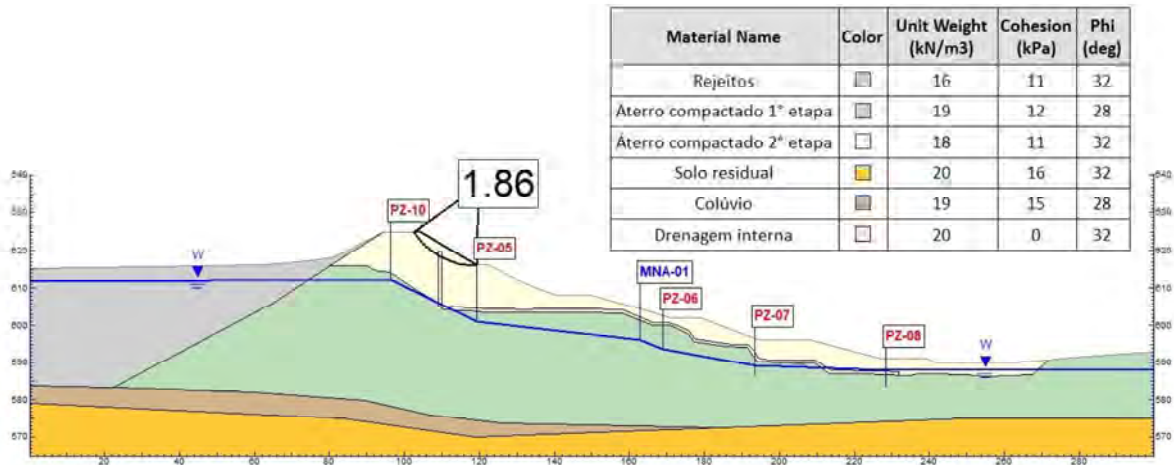
Anexo III 23 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência pseudo-estática circular – MP



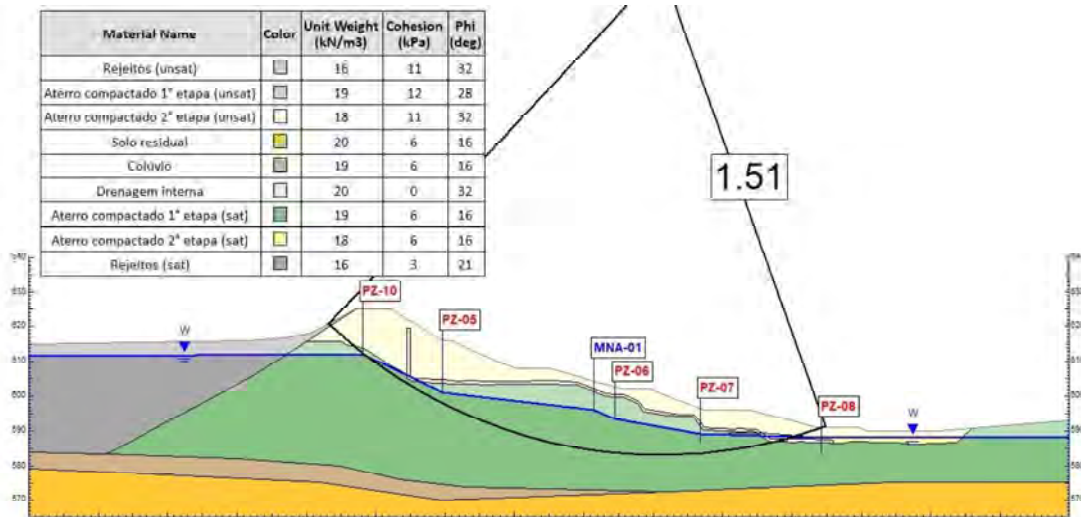
Anexo III 24 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência pseudo-estática não circular – MP



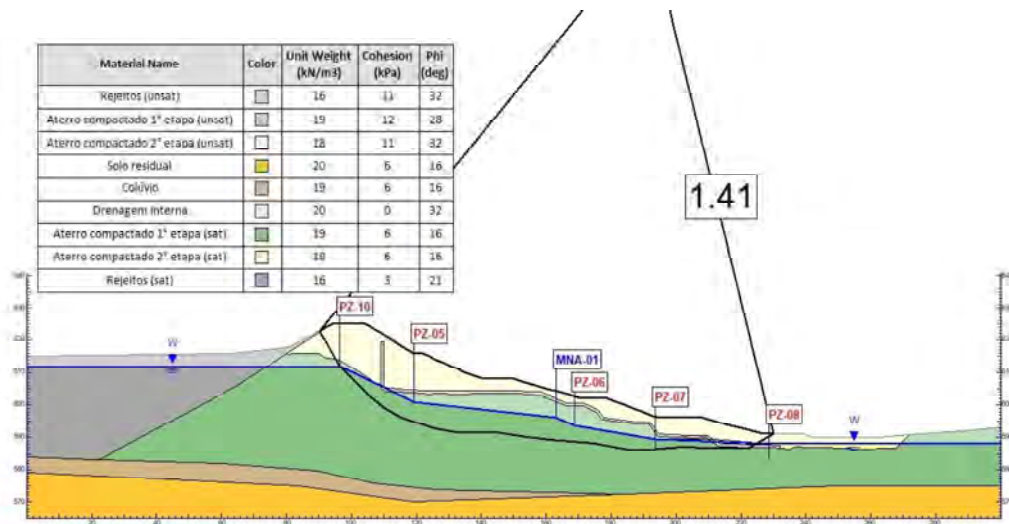
Anexo III 25 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência drenada circular – S



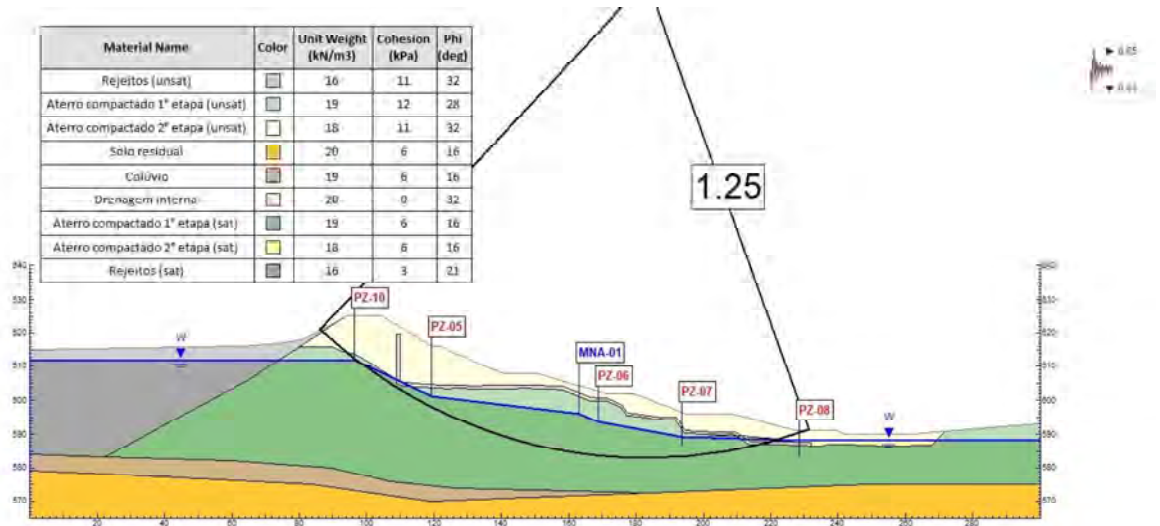
Anexo III 26 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência drenada não circular – S



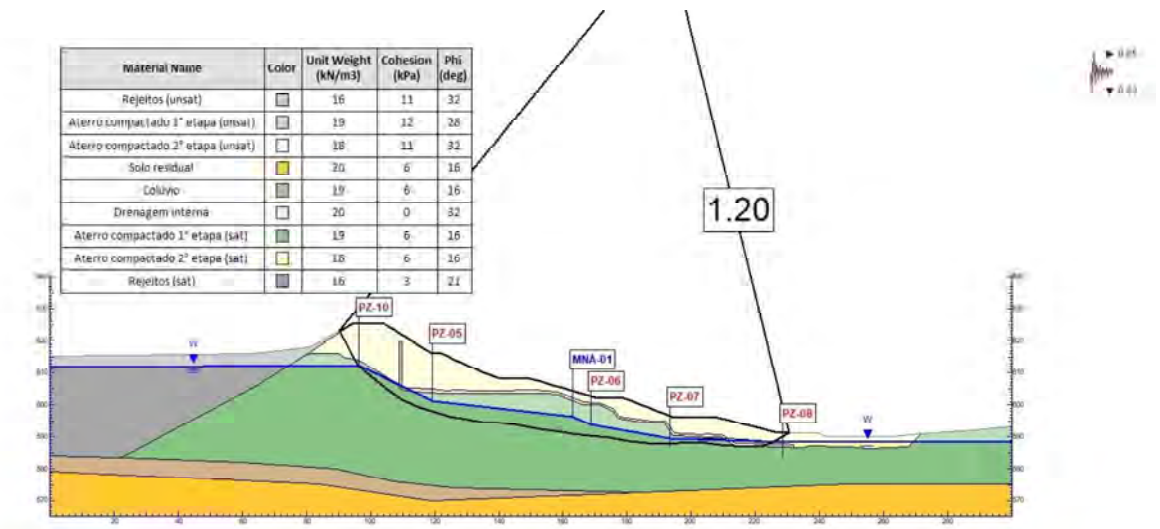
Anexo III 27 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência não drenada circular – S



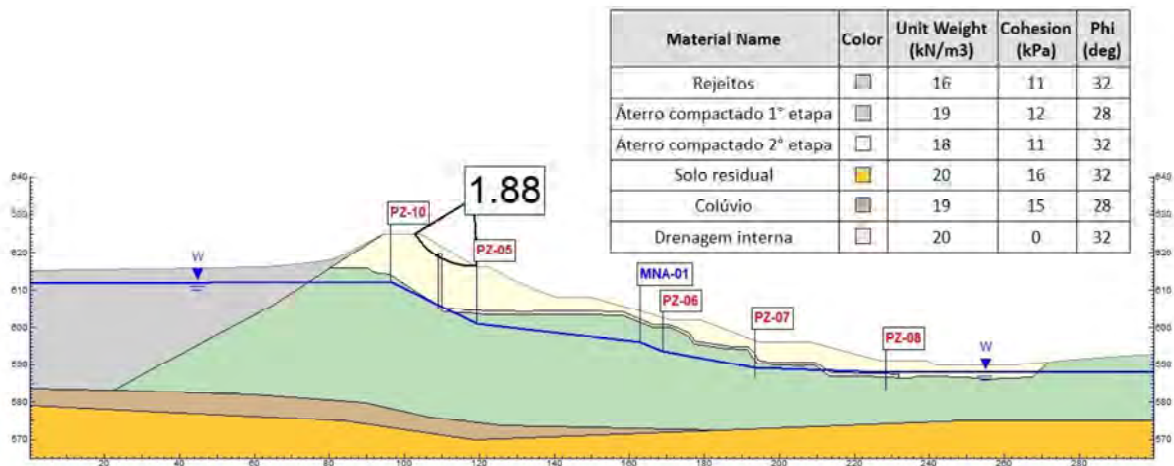
Anexo III 28 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência não drenada não circular – S



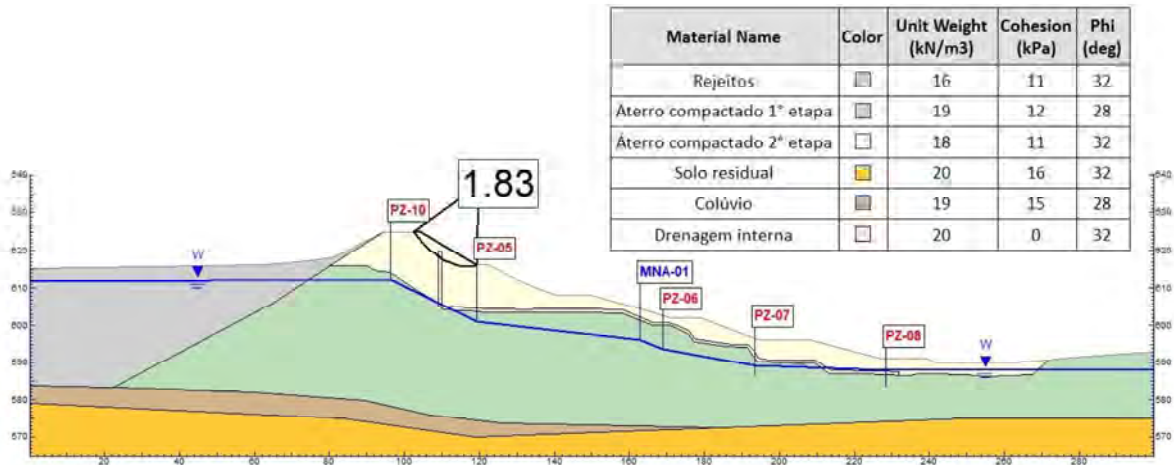
Anexo III 29 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência pseudo-estática circular – S



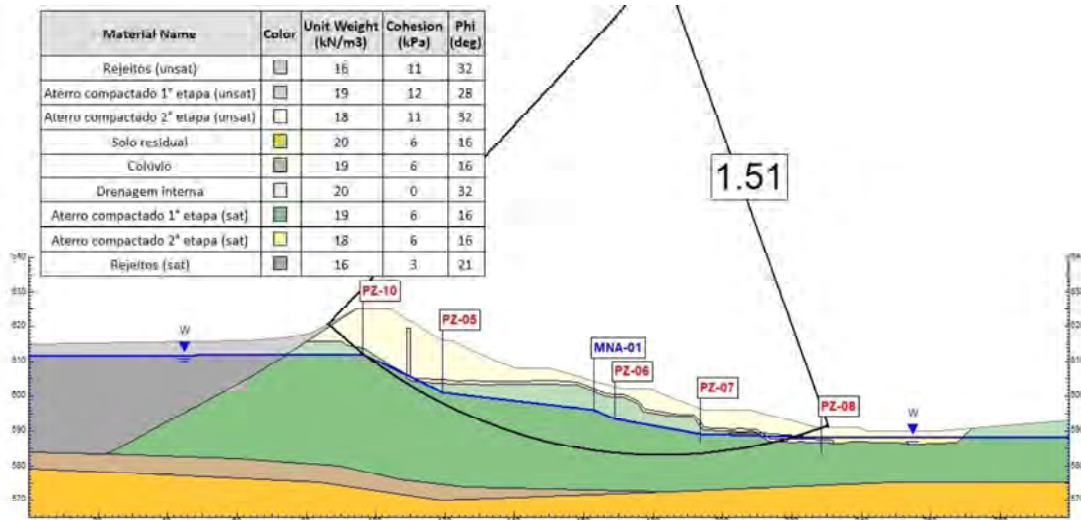
Anexo III 30 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência pseudo-estática não circular – S



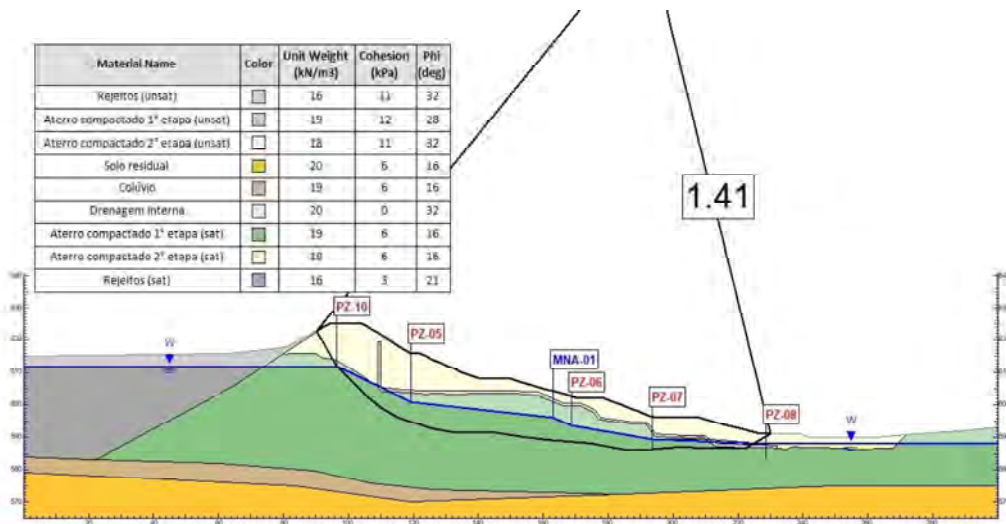
Anexo III 31 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência drenada circular – B



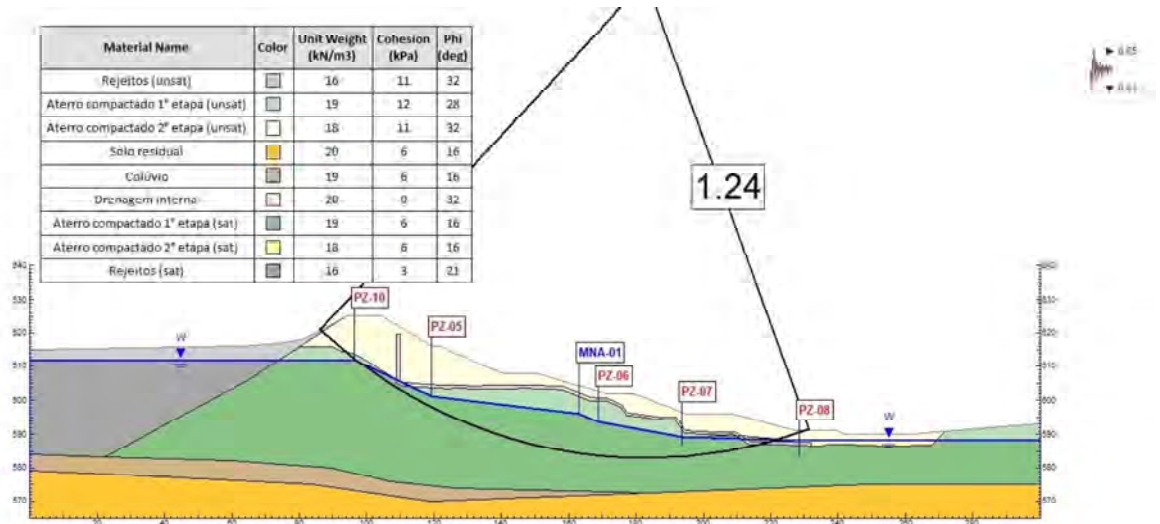
Anexo III 32 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência drenada não circular – B



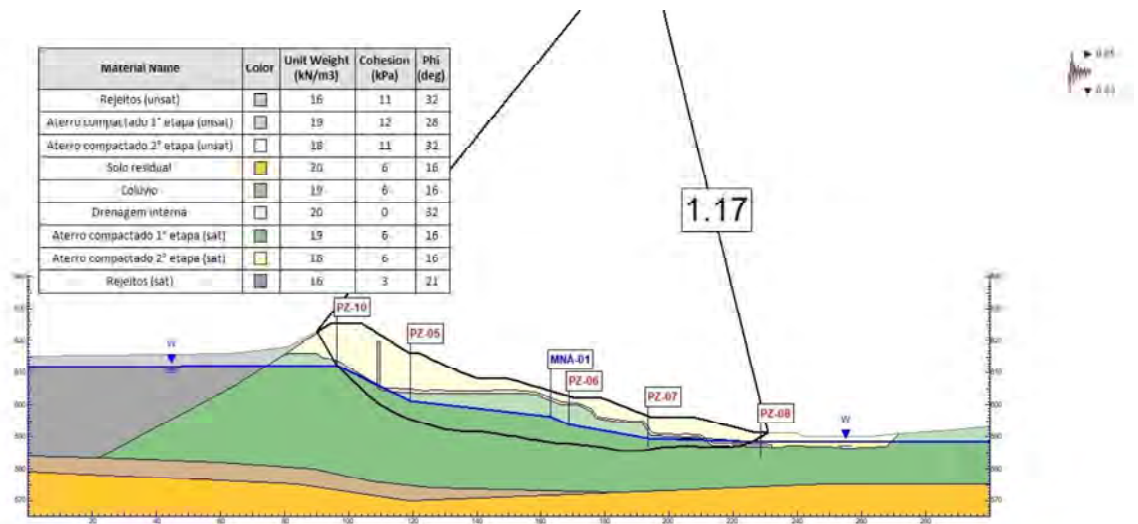
Anexo III 33 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência não drenada circular – B



Anexo III 34 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência não drenada não circular – B

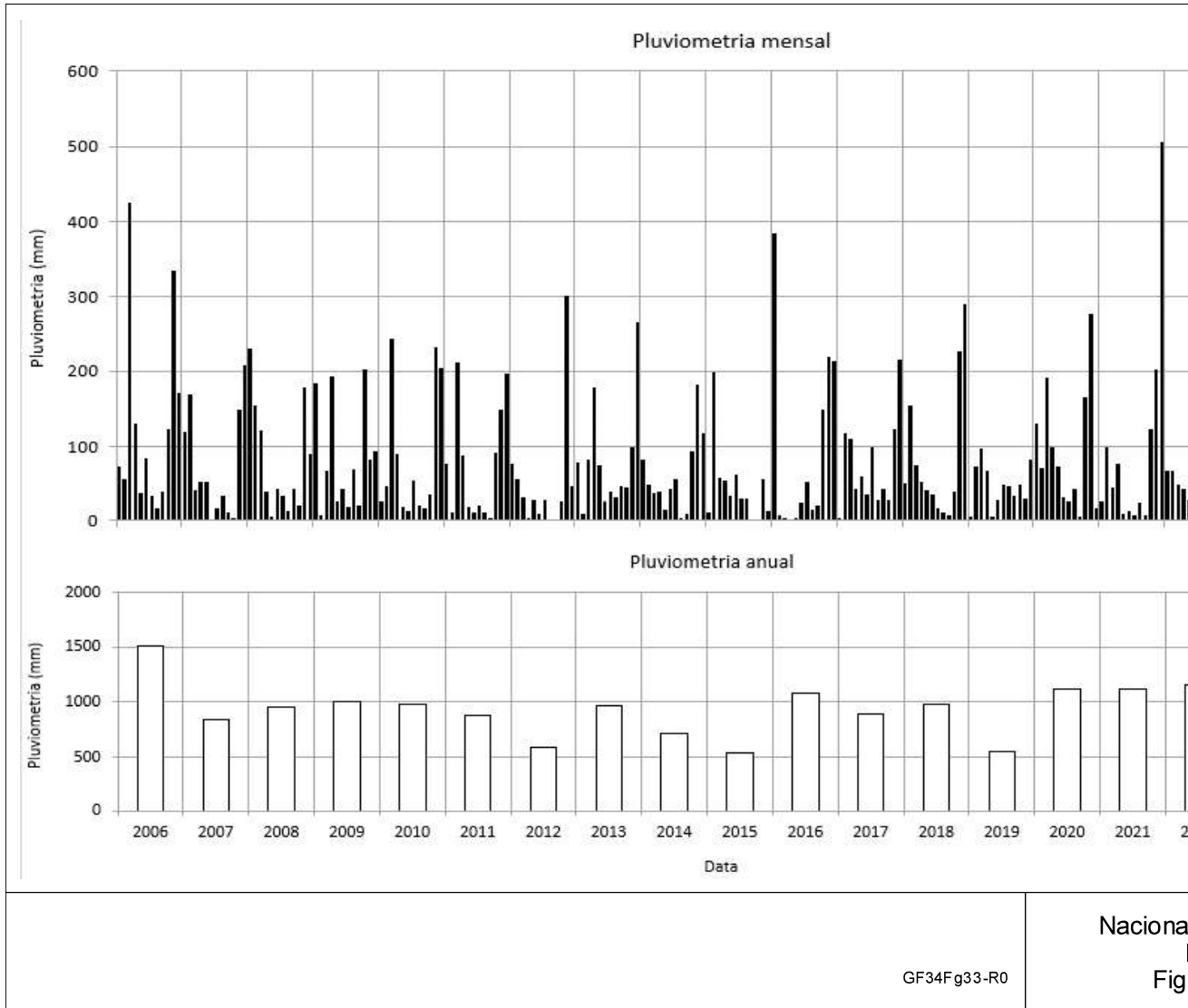


Anexo III 35 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência pseudo-estática circular – B



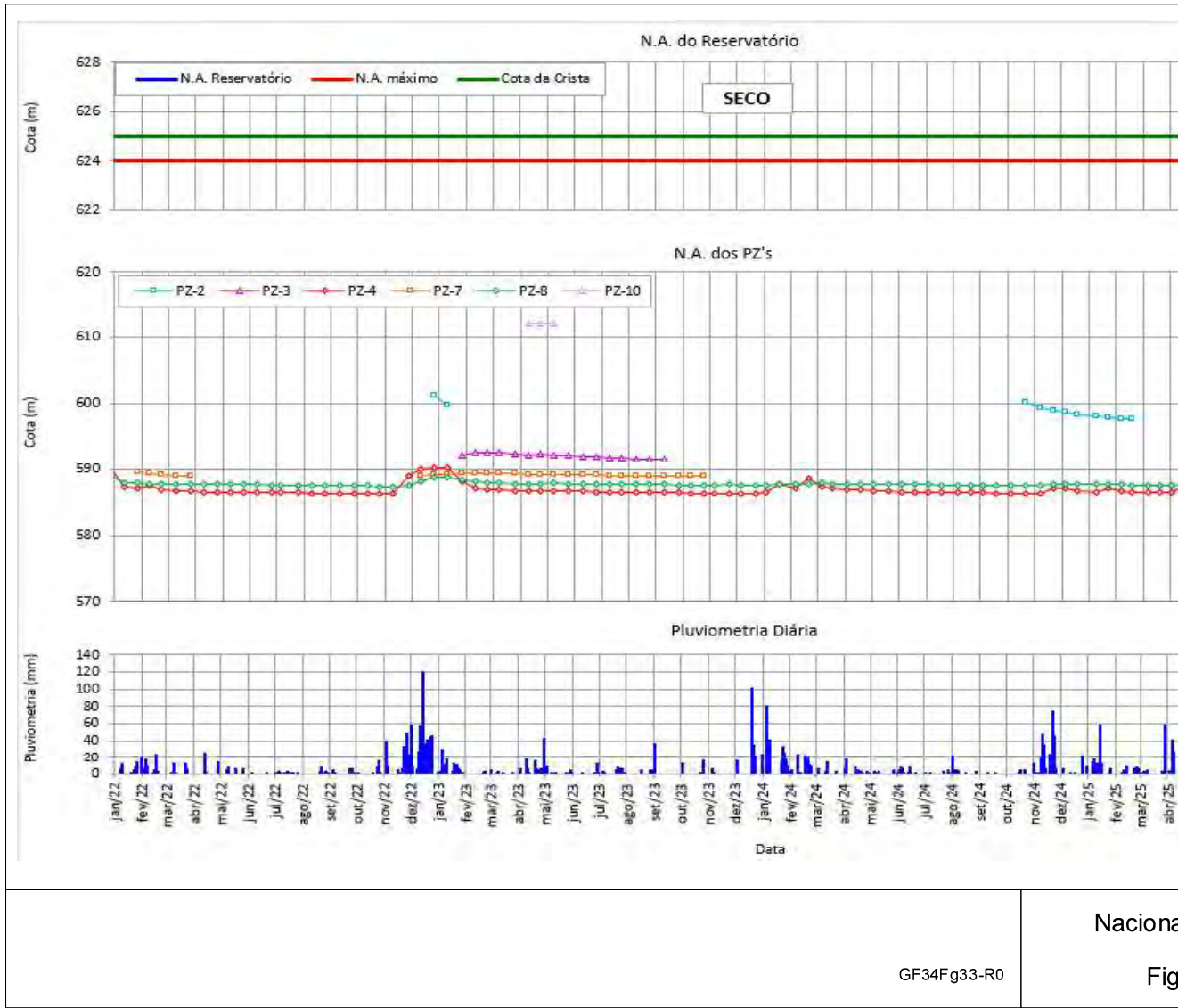
Anexo III 36 - Análise de estabilidade – Seção B – resistência pseudo-estática não circular – B

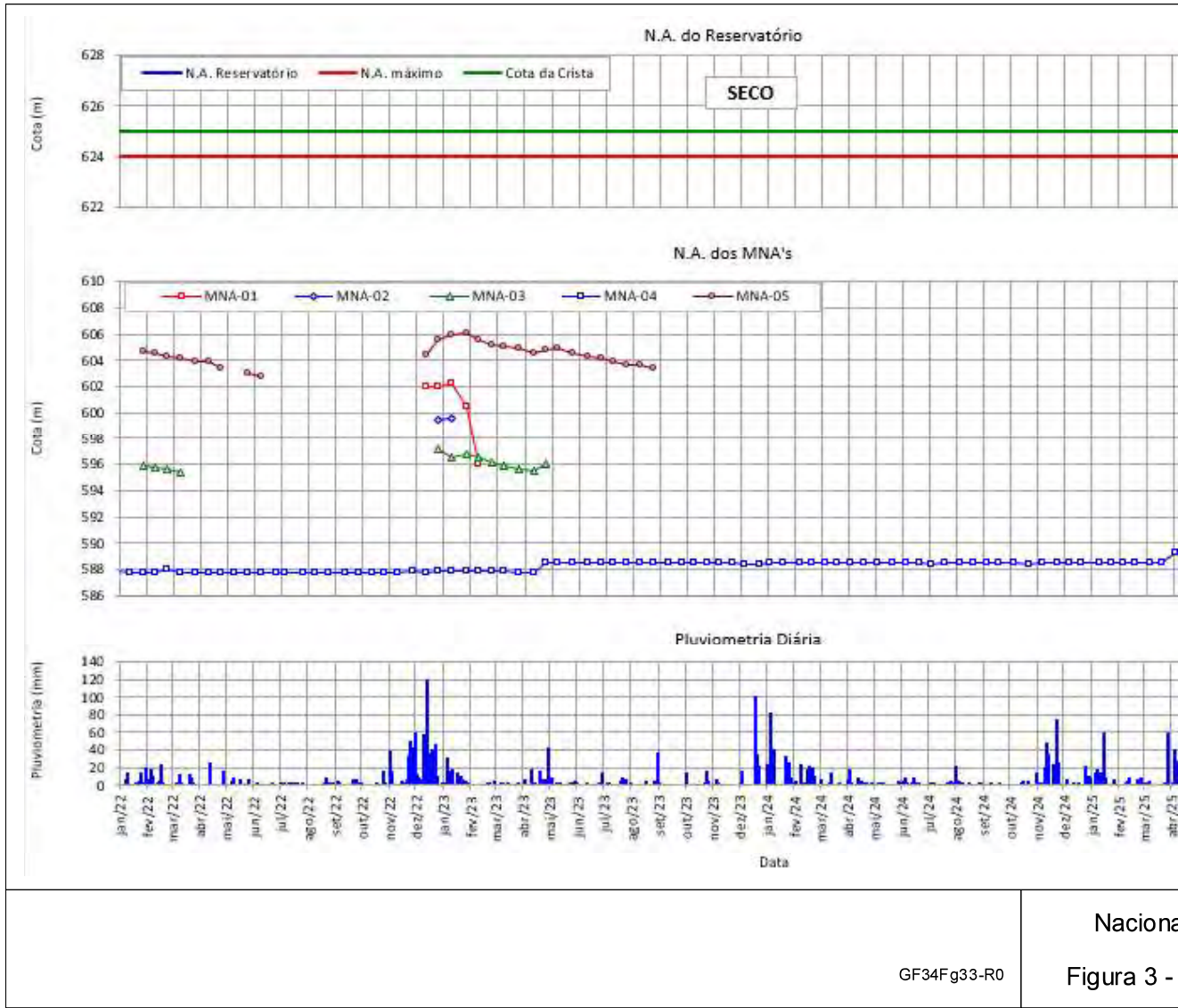
ANEXO IV – GRÁFICOS DE MONITORAMENTO



GF34Fg33-R0

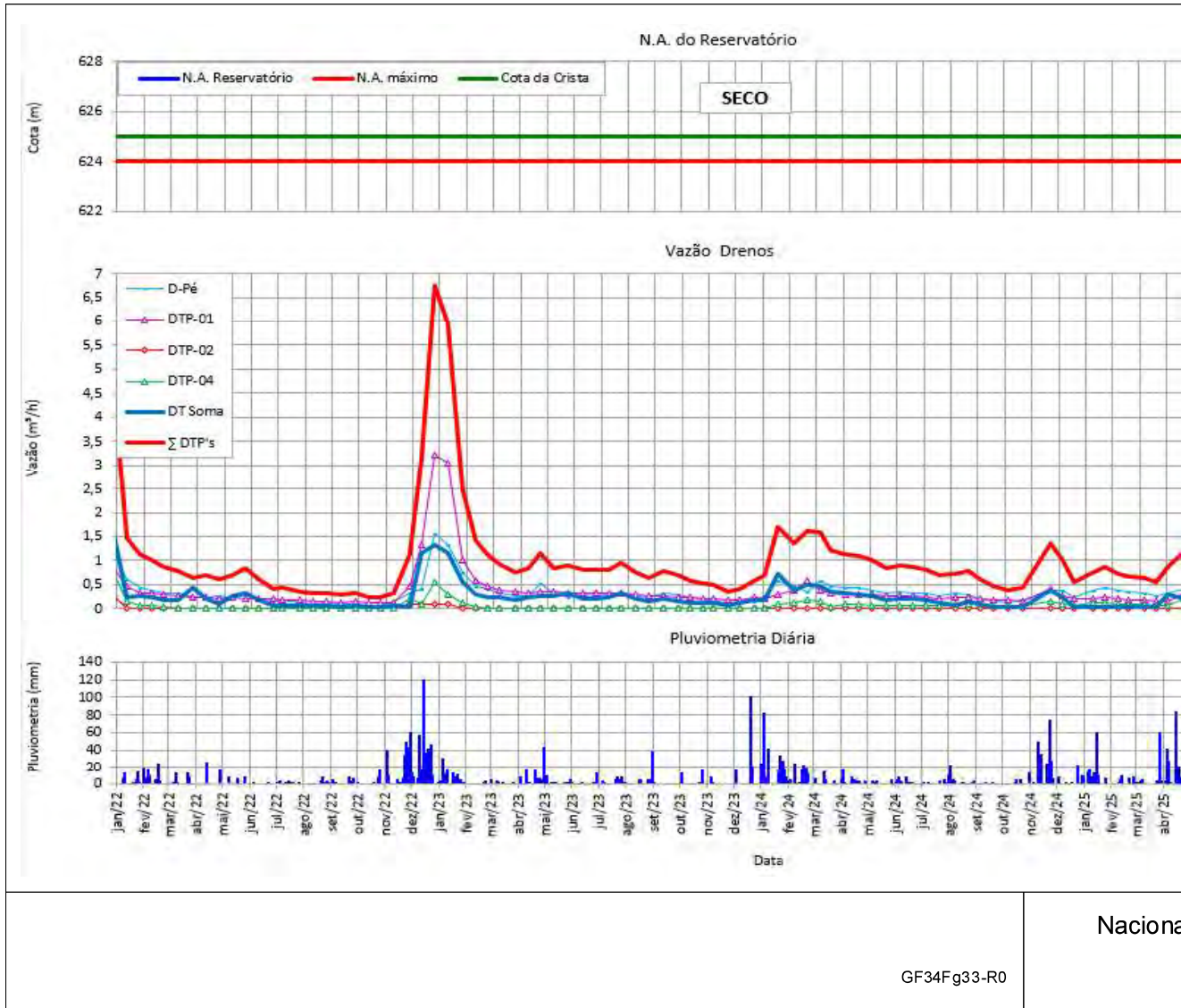
Naciona
Fig





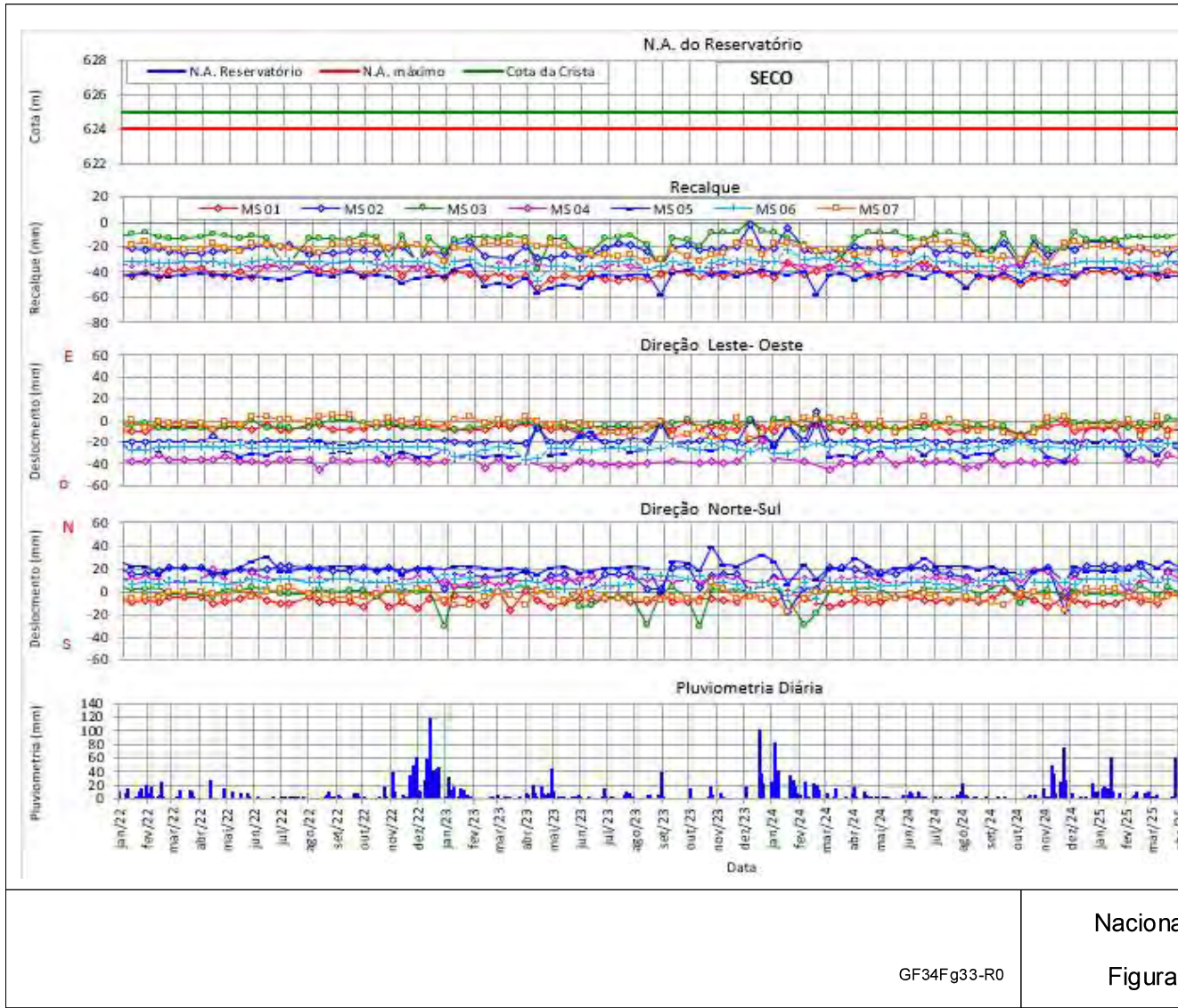
GF34Fg33-R0

Nacional
Figura 3 -



Naciona

GF34Fg33-R0



GF34Fg33-R0

Naciona
Figura

ANEXO V – DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE

Barragens destinadas à acumulação ou à disposição final ou temporária de rejeitos e resíduos industriais ou de mineração e a barragens de água ou líquidos associados a processos industriais ou de mineração no Estado de Minas Gerais.

Ano Base: 2025

Semestre: 2º

Empreendimento: Unidade de Pedra Azul

CNPJ: 21.228.861/0003-63

Município: Pedra Azul, MG

Barragem: Marçu

Finalidade: Disposição final de rejeitos de mineração

Categoria de risco: Baixo **Potencial de dano ambiental:** Baixo

Declaro, para fins de acompanhamento e comprovação junto a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, que realizei auditoria técnica de segurança na estrutura acima especificada, conforme Relatório Técnico de Auditoria de Segurança elaborado em agosto/2025.

Atesto a condição de estabilidade da barragem supracitada.

Para melhorar, manter (ou obter) as condições de segurança da barragem foram especificadas as seguintes recomendações que serão implementadas conforme cronograma a seguir:

- O combate às pragas (formigueiros e cupinzeiros) deverá continuar sendo executado na rotina da Unidade - Rotina (Prazo: 30/08/25 até 30/08/26);
- Manter a crista e os taludes da barragem roçados e limpos, de maneira a permitir uma adequada inspeção de campo - Rotina (Prazo: 30/08/25 até 30/08/26);
- Manter limpo o emboque do extravasor - Rotina (Prazo: 30/08/25 até 30/08/26);
- Manter as ações de monitoramento - inspeções de campo quinzenais e medição dos instrumentos - Rotina (Prazo: 30/08/25 até 30/08/26).

Anexo, cópia da Anotação de Responsabilidade Técnica do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança.

São Paulo, 29 de agosto de 2025.

Assinado por:

BF4B12137F7448E...

Renato Capucho Reis
Engenheiro de Minas
CREA MG 0000073932D

CLOVIS CORDEIRO
RUDGE
RAMOS:21404667806

Assinado de forma digital por
CLOVIS CORDEIRO RUDGE
RAMOS:21404667806
Dados: 2025.08.29 14:26:31
-03'00'

Clovis Cordeiro Rudge Ramos
Diretor Presidente
CPF: 214.046.678-06

DocuSign Envelope ID: 1A5F36E0-D68F-4989-BF3C-B28BD40DAC1B

Página 2/2



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20254233745

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

INICIAL

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

10. Valor

Valor da ART: **R\$ 271,47** Registrada em: **27/08/2025** Valor pago: **R\$ 271,47** Nosso Número: **8609087814**

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <https://crea-mg.sitac.com.br/publico/>, com a chave: xC5z3
Impresso em: 28/08/2025 às 09:10:02 por: , ip: 177.141.203.3



www.crea-mg.org.br
Tel: 0800 031 2732

atendimento@crea-mg.org.br
Fax:

