

Avaliação do Risco de Falha das Barragens de Rejeitos da Mina de Bauxita Mineração do Norte (MRN), Município de Oriximiná, Estado do Pará, Nordeste do Brasil

Steven H. Emerman, Malach Consulting, 785 N 200 W, Spanish Fork, Utah 84660, EUA,
E-mail: SHEmerman@gmail.com, Tel: 1-801-921-1228

Relatório elaborado a pedido da VoicesNGO
Apresentado em 27 de abril de 2026

NOTA SOBRE A METODOLOGIA

Para cada barragem de rejeitos, a regulamentação brasileira atribui uma Categoria de Risco, com base na pontuação de 20 características, e um Dano Potencial Associado, com base na pontuação de quatro características. Assim, a pontuação mais alta possível para uma determinada característica não implica necessariamente uma Categoria de Risco elevada ou um Dano Potencial Associado elevado. Entre outras coisas, este relatório examina as diversas características das barragens de rejeitos da mina MRN e argumenta que algumas delas deveriam ser ajustadas para pontuações mais elevadas.

RESUMO BREVE

Um total de 136,8 milhões de metros cúbicos de rejeitos mineiros estão armazenados atrás de 30 barragens de rejeitos na mina de bauxita Mineração do Norte (MRN), no município de Oriximiná, estado do Pará, nordeste do Brasil. O objetivo deste relatório é avaliar o risco de falha das barragens de rejeitos, tanto em termos de probabilidade quanto de consequências da falha, considerando especialmente as informações reportadas pela empresa mineira à Agência Nacional de Mineração (ANM) e disponíveis publicamente no Brasil no site da ANM. Com uma inclinação típica do talude externo de 1V:1,5H (1 metro vertical para 1,5 metros horizontal), as barragens de rejeitos são excessivamente íngremes. Em contraste, a inclinação máxima recomendada para barragens de terra pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA é de 1V:5H e a inclinação máxima recomendada para barragens de rejeitos pela Comissão Europeia e pelo livro-texto padrão sobre barragens de rejeitos é de 1V:3H. Embora o Brasil não possua regulamentação quanto à inclinação máxima permitida, uma inclinação superior a 1V:2H corresponde à pontuação mais alta (maior probabilidade de falha) para aquela característica específica da Categoria de Risco.

O site atual da ANM lista duas barragens de rejeitos (SP2_3 e SP6) como construídas pelo método a montante, no qual a barragem é construída sobre os rejeitos não compactados. O método de construção a montante é proibido no Brasil desde 2019 e ambas as barragens de rejeitos constam como estando em processo de descaracterização. No entanto, um relatório de consultoria de 2021 para a empresa indicou que o método a montante era o método genérico para todas as barragens de rejeitos da mina MRN. Com base nas seções transversais disponíveis e nas alterações nas informações do site da ANM, é muito provável que pelo menos 17 das barragens de rejeitos tenham sido construídas usando o método a montante, incluindo 13 que ainda estão recebendo rejeitos ativamente. É difícil conciliar as alterações no método de construção declarado no site da ANM com as declarações relativas à documentação do projeto, como a alteração da barragem de rejeitos TP2, em operação desde janeiro de 2002, do método a

montante para o método de etapa único em julho de 2019, juntamente com a informação atual de que a empresa mineira possui tanto a documentação original do projeto detalhado quanto a documentação original “como construído” (que deveria descrever e explicar quaisquer alterações entre o projeto original e o que foi efetivamente construído).

Das 30 barragens de rejeitos, cinco (TP1, TP2, SP4 Norte, SP7A, SP7C) são classificadas na Categoria de Risco Médio, e as demais na Categoria de Risco Baixo, de acordo com o sistema de pontuação previsto nas regulamentações brasileiras, que leva em consideração dez Características Técnicas, cinco aspectos do Estado de Conservação e cinco aspectos do Plano de Segurança de Barragens. As cinco barragens de rejeitos atualmente na Categoria de Risco Médio foram reclassificadas da Categoria de Risco Baixo em março ou abril de 2024. Como a barragem de rejeitos TP2 agora tem uma pontuação de 48 e como a pontuação mínima para a Categoria de Risco Médio é 41, múltiplos aspectos de degradação no Estado de Conservação devem ter ocorrido para que a Categoria de Risco fosse alterada. O site da ANM atribui a todas as barragens de rejeitos a pontuação mais baixa (menor probabilidade de falha) para a vazão de projeto correspondente ao projeto para a Cheia Máxima Provável (CMP) ou para a cheia com tempo de retorno de 10.000 anos. No entanto, não há documentação disponível que demonstre que alguma das barragens de rejeitos tenha borda livre suficiente para conter a cheia de 10.000 anos, e todos os Planos de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM) afirmam que a causa mais provável de falha é o galgamento durante uma cheia de 10.000 anos. Se a pontuação for alterada para refletir uma vazão de projeto desconhecida e o método de construção a montante, conforme apropriado, então 16 barragens de rejeitos devem ser classificadas na Categoria de Risco Médio, e as restantes na Categoria de Risco Baixo.

As análises computacionais de ruptura de barragem que servem de base para os Planos de Ação de Emergência são irrealistas, pois as velocidades previstas para os rejeitos são irrealisticamente baixas. As velocidades médias previstas para os rejeitos resultantes de rupturas das barragens TP1 e TP2 foram de 0,69 a 1,52 quilômetros por hora para rupturas em “dia seco” e de 1,47 a 2,71 quilômetros por hora para ruptura devido a uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos. Em contrapartida, a velocidade mediana dos rejeitos em falhas anteriores foi de 35 quilômetros por hora, e mesmo a velocidade normal de um curso d’água sem cheias é de 5 quilômetros por hora. As análises computacionais de ruptura de barragens também são desprovidas de quaisquer análises de sensibilidade, de modo que devem ser consideradas altamente não confiáveis em quaisquer circunstâncias.

Com base nas análises de ruptura de barragens e em um sistema de pontuação que leva em consideração o volume do reservatório de rejeitos, a existência de uma população a jusante, o impacto ambiental e o impacto socioeconômico, as barragens de rejeitos TP1 e TP2 receberam a classificação de Dano Potencial Associado (DPA) Alto, enquanto todas as outras barragens de rejeitos receberam a classificação Médio. As pontuações para a existência de uma população a jusante e para impacto socioeconômico foram arbitrarias, visto que múltiplas análises de ruptura de barragem para outras barragens de rejeitos, além de TP1 e TP2, também mostraram a chegada da inundação de rejeitos à comunidade de Sapucaá. Além disso, enquanto as análises de ruptura de barragem para TP1 e TP2 assumiram o galgamento das barragens durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos, com uma cheia com tempo de retorno de 100 anos ocorrendo nos cursos d’água a jusante (uma contradição absurda), as análises de ruptura de barragem para as demais barragens de rejeitos assumiram vazão normal nos cursos d’água a jusante. Finalmente, com base em um modelo estatístico desenvolvido a partir de falhas anteriores em barragens de rejeitos, as alturas e os volumes de armazenamento das barragens de rejeitos

indicam que outras barragens deveriam apresentar distâncias de escoamento maiores do que as distâncias de escoamento de TP1 ou TP2. Deve-se notar também que, apesar da proximidade das barragens de rejeitos, não foi considerada a possibilidade de rupturas em cascata ou simplesmente a possibilidade de que o mesmo evento de precipitação extrema possa resultar na ruptura simultânea de múltiplas barragens. Em resumo, deve-se assumir que todas as barragens de rejeitos da mina MRN devem ser classificadas como de Dano Potencial Associado (DPA) Alto.

Apesar do fortalecimento das regulamentações brasileiras em 2022 quanto à necessidade de descrever integralmente os potenciais impactos nas comunidades a jusante no PAEBM, havia consideravelmente mais informações disponíveis no PAEBM de 2018 para TP1 e TP2 do que nas versões de 2023 ou 2025 do PAEBM. Tanto a versão anterior quanto as posteriores do PAEBM chamaram a atenção para a potencial perda de vidas humanas, o assoreamento dos cursos d'água a jusante e a alteração dos canais dos rios, a inundação de propriedades rurais e campos agrícolas, e a destruição da vida aquática. No entanto, o PAEBM de 2018 também enfatizou a potencial perda do uso dos cursos d'água a jusante pela população local, incluindo a perda de água potável e a perda da pesca como fonte de alimento e atividade econômica. Nenhuma versão do PAEBM propôs medidas concretas que poderiam ser tomadas para minimizar os impactos a jusante, seja antes ou depois da falha da barragem de rejeitos.

ÍNDICE

NOTA SOBRE A METODOLOGIA	1
RESUMO BREVE	1
RESUMO EXECUTIVO	6
VISÃO GERAL	11
TUTORIAL SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS	19
<i>Métodos de Construção de Barragens de Rejeitos</i>	19
<i>Barragens de Rejeitos vs. Barragens de Retenção de Água</i>	24
<i>Liquefação</i>	30
<i>Mecanismos de Falha de Barragens de Rejeitos</i>	33
<i>Perigos do Método de Construção a Montante</i>	38
<i>Análises Determinísticas vs. Empíricas de Ruptura de Barragens</i>	53
<i>Regulamentações Brasileiras de Barragens de Rejeitos</i>	56
RESUMO DAS BARRAGENS DE REJEITOS NA MINA MRN	65
<i>Análises Computacionais de Ruptura de Barragem e Planos de Ação de Emergência</i>	65
<i>Situação da Descaracterização</i>	80
PERGUNTAS	80
RESPOSTAS	81
<i>1: Barragens de Rejeitos não são Construídas de acordo com os Padrões da Indústria</i>	81
<i>2: Muitas Barragens de Rejeitos são Barragens a Montante na Verdade</i>	82
<i>3: As Categorias de Risco foram Rebaixadas Incorretamente</i>	91
<i>4: As Análises Computacionais de Ruptura de Barragem são Inconsistentes com Falhas Anteriores</i>	95
<i>5: Os Danos Potenciais Associados foram Rebaixados Incorretamente</i>	101
<i>6: Os Planos de Ação de Emergência são Inadequados</i>	111
CONCLUSÕES RESUMIDAS	113
RECOMENDAÇÕES	116
SOBRE O AUTOR	117
REFERÊNCIAS	117
ANEXO A: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA TP1	129
ANEXO B: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA TP2	134
ANEXO C: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA TP3	139
ANEXO D: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP1	144
ANEXO E: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP2_3	149
ANEXO F: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP4 NORTE	154
ANEXO G: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP4 SUL	159
ANEXO H: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP5 LESTE	164
ANEXO I: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP5 OESTE	169
ANEXO J: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP6	174
ANEXO K: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP7A	179
ANEXO L: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP7B	184
ANEXO M: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP7C	189
ANEXO N: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP8	194
ANEXO O: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP9	199
ANEXO P: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP9A	204

ANEXO Q: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP10	209
ANEXO R: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP11	214
ANEXO S: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP12	219
ANEXO T: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP13	224
ANEXO U: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP14	229
ANEXO V: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP15	234
ANEXO W: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP16	239
ANEXO X: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP19	244
ANEXO Y: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-24A	249
ANEXO Z: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-24B	254
ANEXO AA: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-24C	259
ANEXO AB: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-25A	264
ANEXO AC: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-25B	269
ANEXO AD: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-25C	274

RESUMO EXECUTIVO

Um total de 136,8 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração estão armazenados atrás de 30 barragens de rejeitos na mina de bauxita Mineração Rio do Norte (MRN), no município de Oriximiná, estado do Pará, nordeste do Brasil. O complexo de barragens de rejeitos é composto por três barragens TP (Thickening Pond [Lagoa de Espessamento]) e 27 barragens SP (Settlement Pond [Lagoa de Decantação]). As barragens TP recebem rejeitos da planta de processamento com um teor de sólidos de 7 a 8%. Os rejeitos atingem um teor de sólidos de até 25% nas barragens TP, e os rejeitos com um teor de sólidos na faixa de 18 a 25% são transferidos para uma das barragens SP, onde os rejeitos se tornam mais densos, atingindo um teor de sólidos de 55%. Todas as barragens de rejeitos TP estão ativas, enquanto as barragens SP incluem 22 barragens ativas, uma barragem inativa e quatro barragens em processo de descaracterização.

De acordo com informações fornecidas pela empresa de mineração à Agência Nacional de Mineração (ANM) e disponíveis publicamente no Brasil no site da ANM, duas das barragens SP que estão em processo de descaracterização foram construídas utilizando o método de alteamento a montante, no qual o material de construção da barragem é colocado sobre rejeitos não compactados. O método de construção a montante foi proibido no Brasil em 2019 e foi denunciado pela indústria de mineração em 2023. De acordo com o site da ANM, das barragens de rejeitos restantes, duas foram construídas utilizando o método a jusante, sete foram construídas utilizando o método de linha de centro e 19 são barragens de etapa única. Numerosas mudanças ocorreram nas descrições dos métodos de construção das barragens. Por exemplo, em julho de 2019, após a proibição do método a montante no Brasil, as descrições foram alteradas de a montante para etapa única em 10 barragens de rejeitos, de a montante para linha de centro em oito barragens de rejeitos e de linha de centro para a jusante em uma barragem de rejeitos. Duas das barragens de rejeitos que haviam sido reclassificadas de barragens a montante para barragens de linha de centro foram novamente reclassificadas como barragens a montante em junho de 2020.

As regulamentações brasileiras atribuem uma Categoria de Risco (correspondente à probabilidade de falha) às barragens de rejeitos, de acordo com um sistema de pontuação que leva em consideração dez Características Técnicas, cinco aspectos do Estado de Conservação e cinco aspectos do Plano de Segurança da Barragem. As regulamentações brasileiras também atribuem um Dano Potencial Associado (DPA) (correspondente às consequências de uma falha), de acordo com um sistema de pontuação que leva em consideração o volume do reservatório, a existência de população a jusante, o impacto ambiental e o impacto socioeconômico. Das 30 barragens de rejeitos, cinco (TP1, TP2, SP4 Norte, SP7A, SP7C) são classificadas na Categoria de Risco Médio, enquanto as demais são classificadas na Categoria de Risco Baixo. Além disso, duas barragens de rejeitos (TP1, TP2) são classificadas como DPA de Alto com as demais classificadas como DPA de Médio.

O objetivo deste relatório é avaliar o risco de falha das barragens de rejeitos, tanto em termos de probabilidade quanto de consequências da falha, considerando especialmente as informações reportadas pela empresa mineira à Agência Nacional de Mineração (ANM) e disponíveis publicamente no Brasil no site da ANM. O objetivo foi subdividido em responder às seguintes perguntas relativas às barragens de rejeitos da mina MRN:

- 1) As barragens de rejeitos foram construídas de acordo com os padrões da indústria?
- 2) As barragens de rejeitos foram classificadas corretamente em termos do método de construção?

- 3) As faixas de classificação para a Categoria de Risco foram indicadas corretamente?
- 4) Os resultados das análises computacionais de ruptura da barragem são consistentes com as falhas anteriores de barragens de rejeitos?
- 5) As faixas de classificação para o Dano Potencial Associado foram indicadas corretamente?
- 6) As barragens de rejeitos possuem Planos de Ação de Emergência adequados?

Para facilitar a leitura por não especialistas, este relatório inclui um tutorial sobre barragens de rejeitos, incluindo os métodos de construção de barragens de rejeitos, as diferenças entre barragens de rejeitos e barragens de retenção de água, liquefação, os mecanismos de falha de barragens de rejeitos, os perigos do método de construção a montante, as diferenças entre análises de ruptura de barragens determinísticas (computacionais) e empíricas (estatísticas) e as regulamentações brasileiras relevantes para barragens de rejeitos. Como os dados abrangentes sobre barragens de rejeitos disponíveis no site da ANM não estão acessíveis fora do Brasil, as informações principais sobre cada barragem de rejeitos da mina MRN são fornecidas nos anexos deste relatório.

Em comparação com os padrões da indústria, as barragens de rejeitos da mina MRN são excessivamente íngremes. A inclinação típica do talude externo é de 1V:1,5H (1 metro vertical para 1,5 metros horizontal). Em 24 das 30 barragens de rejeitos, todos os taludes são mais íngremes do que 1V:2H. Em contraste, a inclinação máxima recomendada para barragens de terra pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA é de 1V:5H e a inclinação máxima recomendada para barragens de rejeitos pela Comissão Europeia e pelo livro-texto padrão sobre barragens de rejeitos é de 1V:3H. Embora o Brasil não possua regulamentação quanto à inclinação máxima permitida, uma inclinação superior a 1V:2H corresponde à pontuação mais alta (maior probabilidade de falha) para aquela característica específica da Categoria de Risco.

Embora o site atual da ANM lista apenas duas barragens de rejeitos (SP2_3 e SP6) como construídas pelo método a montante, um relatório de consultoria de 2021 para a empresa indicou que o método a montante era o método genérico para todas as barragens de rejeitos da mina MRN. O relatório de consultoria argumentava, essencialmente, que as barragens a montante são, na verdade, barragens de linha de centro, o que não tem base na regulamentação brasileira nem nos padrões da indústria, mas que poderia explicar por que oito barragens a montante foram reclassificadas como barragens de linha de centro, embora duas delas tenham sido posteriormente reclassificadas novamente como barragens a montante. Com base nas seções transversais disponíveis e nas alterações nas informações do site da ANM, é muito provável que pelo menos 17 das barragens de rejeitos tenham sido construídas usando o método a montante, incluindo 13 que ainda estão recebendo rejeitos ativamente. É difícil conciliar as alterações no método de construção declarado no site da ANM com as declarações relativas à documentação do projeto, como a alteração da barragem de rejeitos TP2, em operação desde janeiro de 2002, do método a montante para o método de etapa única em julho de 2019, juntamente com a informação atual de que a empresa mineira possui tanto a documentação original do projeto detalhado quanto a documentação original “como construído” (que deveria descrever e explicar quaisquer alterações entre o projeto original e o que foi efetivamente construído). Deve ficar claro que não há nenhum sentido lógico em que uma barragem a montante possa ser convertida em uma barragem de etapa única na realidade (em oposição à descrição), visto que uma barragem a montante tem os alteamentos construídas sobre rejeitos não compactados e uma barragem de etapa única não possui alteamentos.

Como a barragem de rejeitos TP2 agora tem uma pontuação de 48 e como a pontuação mínima para a Categoria de Risco Médio é 41, múltiplos aspectos de degradação no Estado de Conservação devem ter ocorrido para que a Categoria de Risco fosse alterada. Caso contrário, não há informações sobre o motivo pelo qual cinco barragens de rejeitos foram reclassificados da Categoria de Risco Baixo para a Categoria de Risco Médio em março e abril de 2024. O site da ANM atribui a todas as barragens de rejeitos a pontuação mais baixa (menor probabilidade de falha) para a vazão de projeto correspondente ao projeto para a Cheia Máxima Provável (CMP) ou para a cheia com tempo de retorno de 10.000 anos. No entanto, não há documentação disponível que demonstre que alguma das barragens de rejeitos tenha borda livre suficiente para conter a cheia de 10.000 anos, e todos os Planos de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM) afirmam que a causa mais provável de falha é o galgamento durante uma cheia de 10.000 anos. Se a pontuação for alterada para refletir uma vazão de projeto desconhecida e o método de construção a montante, conforme apropriado, então 16 barragens de rejeitos devem ser classificadas na Categoria de Risco Médio, e as restantes na Categoria de Risco Baixo.

As análises computacionais de ruptura de barragem que servem de base para os Planos de Ação de Emergência são irrealistas, pois as velocidades previstas para os rejeitos são irrealisticamente baixas. As velocidades médias previstas para os rejeitos resultantes de rupturas das barragens TP1 e TP2 foram de 0,69 a 1,52 quilômetros por hora para rupturas em “dia seco” e de 1,47 a 2,71 quilômetros por hora para ruptura devido a uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos. Em contrapartida, a velocidade mediana dos rejeitos em falhas anteriores foi de 35 quilômetros por hora, e mesmo a velocidade normal de um curso d’água sem cheias é de 5 quilômetros por hora. Um contraste interessante é que o modelo computacional para uma inundação com período de retorno de 100 anos, sem a falha da barragem de rejeitos, parece ser muito mais realista ao prever uma velocidade máxima de 3,9 quilômetros por hora, calculada como média ao longo do percurso de fluxo a jusante.

Com base nas análises de ruptura de barragens e no sistema de pontuação que leva em consideração o volume do reservatório de rejeitos, a existência de uma população a jusante, o impacto ambiental e o impacto socioeconômico, as barragens de rejeitos TP1 e TP2 receberam a classificação de Dano Potencial Associado (DPA) Alto, enquanto todas as outras barragens de rejeitos receberam a classificação Médio. As pontuações para a existência de uma população a jusante e para impacto socioeconômico foram arbitrárias, visto que múltiplas análises de ruptura de barragem para outras barragens de rejeitos, além de TP1 e TP2, também mostraram a chegada da inundação de rejeitos à comunidade de Sapucaá. Além disso, enquanto as análises de ruptura de barragem para TP1 e TP2 assumiram o galgamento das barragens durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos, com uma cheia com tempo de retorno de 100 anos ocorrendo nos cursos d’água a jusante (uma contradição absurda), as análises de ruptura de barragem para as demais barragens de rejeitos assumiram vazão normal nos cursos d’água a jusante. Finalmente, com base em um modelo estatístico desenvolvido a partir de falhas anteriores em barragens de rejeitos, as alturas e os volumes de armazenamento das barragens de rejeitos indicam que outras barragens (especialmente SP4 Norte, SP5 Oeste, SP7C, SP8, SP9 e SP11) deveriam apresentar distâncias de escoamento maiores do que as distâncias de escoamento de TP1 ou TP2.

Existem, de fato, várias razões pelas quais as consequências da falha das barragens de rejeitos são subestimadas de forma irrealista. Todos os modelos computacionais (exceto o modelo de cheia com período de retorno de 100 anos sem falha da barragem de rejeitos)

supuseram que a inundação de rejeitos se acumularia atrás de um aterro rodoferroviário, com fluxo controlado através da galeria de drenagem do aterro. Por exemplo, as velocidades médias dos rejeitos resultantes das falhas das barragens TP1 e TP2 diminuíram de 0,88-3,23 quilômetros por hora antes do aterro ferroviário para 0,31-1,26 quilômetros por hora após o aterro rodoferroviário durante uma falha em um “dia seco”, e de 4,63-6,23 quilômetros por hora para 1,09-2,41 quilômetros por hora durante uma cheia com período de retorno de 10.000 anos. Embora as análises de ruptura da barragem realizadas em 2018 tenham indicado que a integridade do aterro rodoferroviário deveria ser avaliada, não há indícios de que essa avaliação tenha sido realizada. Além disso, deve-se notar também que, apesar da proximidade das barragens de rejeitos, não foi considerada a possibilidade de rupturas em cascata ou simplesmente a possibilidade de que o mesmo evento de precipitação extrema ou terremoto possa resultar na ruptura simultânea de múltiplas barragens. Em resumo, deve-se assumir que todas as barragens de rejeitos da mina MRN devem ser classificadas como de Dano Potencial Associado (DPA) Alto.

Apesar do fortalecimento das regulamentações brasileiras em 2022 quanto à necessidade de descrever integralmente os potenciais impactos nas comunidades a jusante no PAEBM, havia consideravelmente mais informações disponíveis no PAEBM de 2018 para TP1 e TP2 do que nas versões de 2023 ou 2025 do PAEBM. Tanto a versão anterior quanto as posteriores do PAEBM chamaram a atenção para a potencial perda de vidas humanas, o assoreamento dos cursos d’água a jusante e a alteração dos canais dos rios, a inundação de propriedades rurais e campos agrícolas, e a destruição da vida aquática. No entanto, o PAEBM de 2018 também enfatizou a potencial perda do uso dos cursos d’água a jusante pela população local, incluindo a perda de água potável e a perda da pesca como fonte de alimento e atividade econômica. Nenhuma versão do PAEBM propôs medidas concretas que poderiam ser tomadas para minimizar os impactos a jusante, seja antes ou depois da falha da barragem de rejeitos. Outra consequência das análises não confiáveis de ruptura de barragens de rejeitos na mina MRN é que as Zonas de Autossalvamento para cada barragem de rejeitos não são, de fato, conhecidas. Em particular, dado que as velocidades dos rejeitos foram subestimadas, todas as Zonas de Autossalvamento deveriam ser maiores do que aquelas efetivamente representadas nos Planos de Ação de Emergência da mina MRN.

Este relatório apresenta as seguintes recomendações à empresa Mineração Rio do Norte::

- 1) Para todas as barragens de rejeitos, devem ser construídos contrafortes de forma que os taludes externos não apresentem inclinação superior a 1V:5H. As barragens de rejeitos para as quais não for possível construir tais contrafortes devem ser fechadas de forma segura.
- 2) As barragens de rejeitos cujos alteamentos são construídos sobre rejeitos não compactados devem ser corretamente identificadas como barragens a montante e devem ser descaracterizadas de acordo com a regulamentação brasileira.
- 3) As Categorias de Risco para todas as barragens de rejeitos devem ser corretamente classificadas no site da ANM para indicar o método de construção adequado e a vazão de projeto correta.
- 4) Todas as análises computacionais existentes sobre a ruptura de barragens devem ser reavaliadas para descobrir a origem da discrepância entre as velocidades de inundação de rejeitos previstas e as velocidades de inundação de rejeitos típicas observadas em falhas anteriores de barragens de rejeitos.

- 5) Para todas as barragens de rejeitos, as análises de ruptura da barragem devem ser realizadas de forma a minimizar ou explicar completamente quaisquer discrepâncias entre as velocidades de inundação de rejeitos previstas e as velocidades de inundação de rejeitos típicas observadas em falhas anteriores de barragens de rejeitos.
- 6) A integridade do aterro rodoferroviário e da galeria de drenagem em resposta a uma inundação com tempo de retorno de 10.000 anos deve ser avaliada. Caso não seja possível comprovar que o aterro rodoferroviário e a galeria de drenagem suportariam uma inundação com tempo de retorno de 10.000 anos, análises de ruptura da barragem devem ser realizadas, considerando a falha do aterro ferroviário.
- 7) Para o caso de ruptura devido ao galgamento durante uma inundação com tempo de retorno de 10.000 anos, o fluxo correspondente a uma inundação de 10.000 anos também deve ser aplicado aos cursos d'água a jusante para ambas as barragens de rejeitos TP e SP.
- 8) Com base no exposto anteriormente, os Danos Potenciais Associados (DPA) para todas as barragens de rejeitos devem ser avaliados corretamente no site da ANM.
- 9) Para todas as barragens de rejeitos, o Plano de Ação de Emergência deve contemplar a potencial perda do uso dos cursos d'água a jusante pela população local, incluindo a perda de água potável e a perda da pesca, tanto como fonte de alimento quanto como atividade econômica.
- 10) Para todas as barragens de rejeitos, o Plano de Ação de Emergência deve incluir medidas concretas que devem ser tomadas para minimizar os impactos a jusante, tanto antes quanto depois de uma falha da barragem de rejeitos.

VISÃO GERAL

A mina de bauxita Mineração Rio do Norte (MRN), localizada no município de Oriximiná, no estado do Pará, nordeste do Brasil, é a maior produtora e exportadora de bauxita (hidróxido de alumínio) do país, produzindo mais de 12 milhões de toneladas de bauxita por ano (ver Fig. 1). A empresa Mineração Rio do Norte (MRN) tem 45% de seu capital detido pela empresa suíça Glencore, 33% pela empresa australiana South32 e 22% pela empresa anglo-australiana Rio Tinto (MRN, 2025a). A mina MRN armazena permanentemente 136,8 milhões de metros cúbicos de rejeitos de bauxita atrás de 30 barragens de rejeitos (ANM, 2025; ver Figs. 2-3 e Tabelas 1 e 2a-b). Rejeitos são as partículas de rocha úmidas e trituradas que permanecem após a remoção do produto de valor, como a bauxita, do corpo de minério, acrescidas de reagentes químicos e de seus produtos de reação e degradação. O volume de armazenamento de rejeitos de bauxita na mina MRN é o segundo maior do mundo, sendo o primeiro a mina Weipa da Rio Tinto na Austrália, que armazena 176,4 milhões de metros cúbicos de rejeitos atrás de oito barragens de rejeitos (UNEP et al., 2025; ver Tabela 1). Embora a existência de múltiplas barragens de rejeitos seja comum em minas de bauxita, a mina MRN possui mais barragens de rejeitos do que qualquer outra mina de bauxita no mundo, com o segundo maior número pertencente à mina Pocos da Alcoa no Brasil, que conta com 11 barragens de rejeitos (UNEP et al., 2025; ver Tabela 1).

O complexo de barragens de rejeitos é composto por três barragens TP (*Thickening Pond* [Lagoa de Espessamento]) e 27 barragens SP (*Settlement Pond* [Lagoa de Decantação]) (ver Fig. 2). As barragens TP recebem rejeitos provenientes da planta de processamento com um teor de sólidos de 7-8%. Os rejeitos atingem um teor de sólidos de até 25% no interior das barragens TP, e os rejeitos com teor de sólidos na faixa de 18% a 25% são transferidos para uma das barragens SP, onde se adensam até atingir um teor de sólidos de 55% (DAM, 2020a). Lagos de sobrenadante, com níveis de água que chegam quase ao coroamento das barragens, podem ser observados em todas as barragens de rejeitos visíveis em uma imagem de drone de 2024 (ver Fig. 3). Todas as barragens de rejeitos TP estão ativas (recebendo rejeitos atualmente), enquanto as barragens da SP incluem 22 barragens ativas, uma barragem inativa (que não recebe rejeitos atualmente) e quatro barragens em processo de descaracterização (ver Tabela 2a).

De acordo com informações fornecidas pela mineradora à Agência Nacional de Mineração (ANM) e disponíveis publicamente apenas no Brasil no site da ANM, duas das barragens SP que estão em processo de descaracterização foram construídas utilizando o método a montante, no qual o material de construção da barragem é depositado sobre rejeitos não compactados (ANM, 2025). O método de construção a montante foi proibido no Brasil em 2019 (ANM, 2019a) e foi denunciado pela indústria de mineração em 2023 (Darling, 2023; Turek, 2023). De acordo com o site da ANM, das barragens de rejeitos restantes, duas foram construídas pelo método a jusante, sete pelo método de linha de centro e 19 são barragens de etapa única (ver Tabela 2a). Em contrapartida, segundo informações do site da MRN, “*All structures are built in a single construction phase, in accordance with global engineering best practices* [Todas as estruturas são construídas em uma única fase de construção, em conformidade com as melhores práticas globais de engenharia] (MRN, 2025b), significando que todas as barragens de rejeitos são barragens de etapa única, o que contradiz as informações que a MRN forneceu à Agência Nacional de Mineração (ANM) para publicação no site da ANM (ver Tabela 2a).

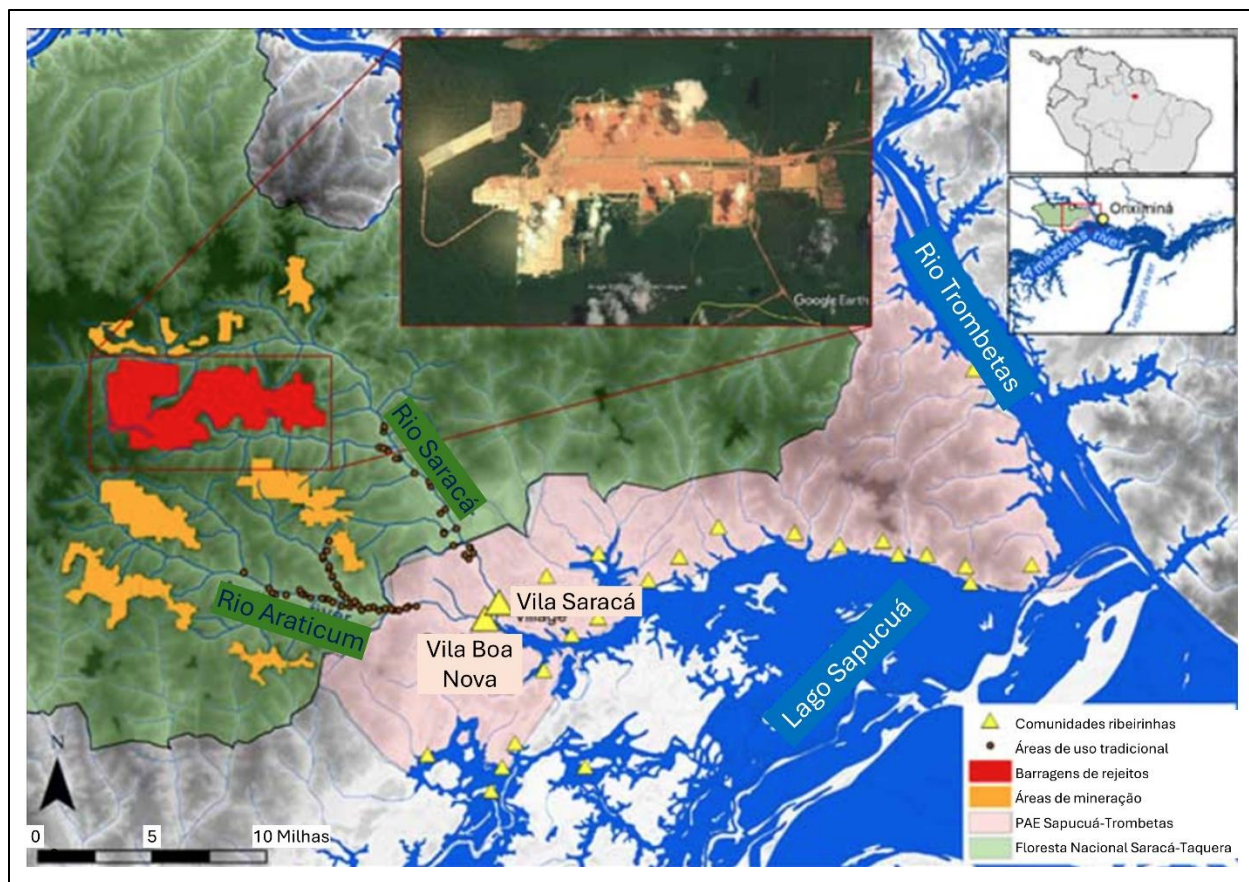


Figura 1. A falha das barragens de rejeitos da mina de bauxita Mineração do Norte (MRN), no município de Oriximiná, estado do Pará, no nordeste do Brasil, pode impactar as comunidades ribeirinhas a jusante, entre a mina e o lago Sapucua. A avaliação do Dano Potencial Associado (DPA) de cada falha de barragem de rejeitos levou em consideração a localização das comunidades, mas aparentemente não as áreas de uso tradicional. Mapa de Borges e Branford (2020) com sobreposição de etiquetas em português.

Tabela 1. Rejeitos de mineração em grandes minas de bauxita¹

Empresa	Mina	País	Armazenamento de Rejeitos (Mm ³)	Número de Barragens de Rejeitos
Rio Tinto	Weipa	Austrália	176,4	8
Mineração Rio do Norte ²	Mineração Rio do Norte	Brasil	136,824304	30
Alcoa	Ma'aden	Saudi Arabia	59	3
Rio Tinto	Gove	Austrália	50,25	6
Hydro	Mineração Paragominas	Brasil	50,1	2
Alcoa	AR Reynolds	EUA	41,376	2
Alcoa	AR Alcoa	EUA	32,648	2
Alcoa	Juruti	Brasil	17,74	6
Alcoa	Pocos	Brasil	11,429247	11

¹Ver Tabela 2a para obter dados da Mineração Rio do Norte. Todos os outros dados são do UNEP et al. (2025).

²A Mineração Rio do Norte é detida 45% pela Glencore, 33% pela South32 e 22% pela Rio Tinto (MRN, 2025a).

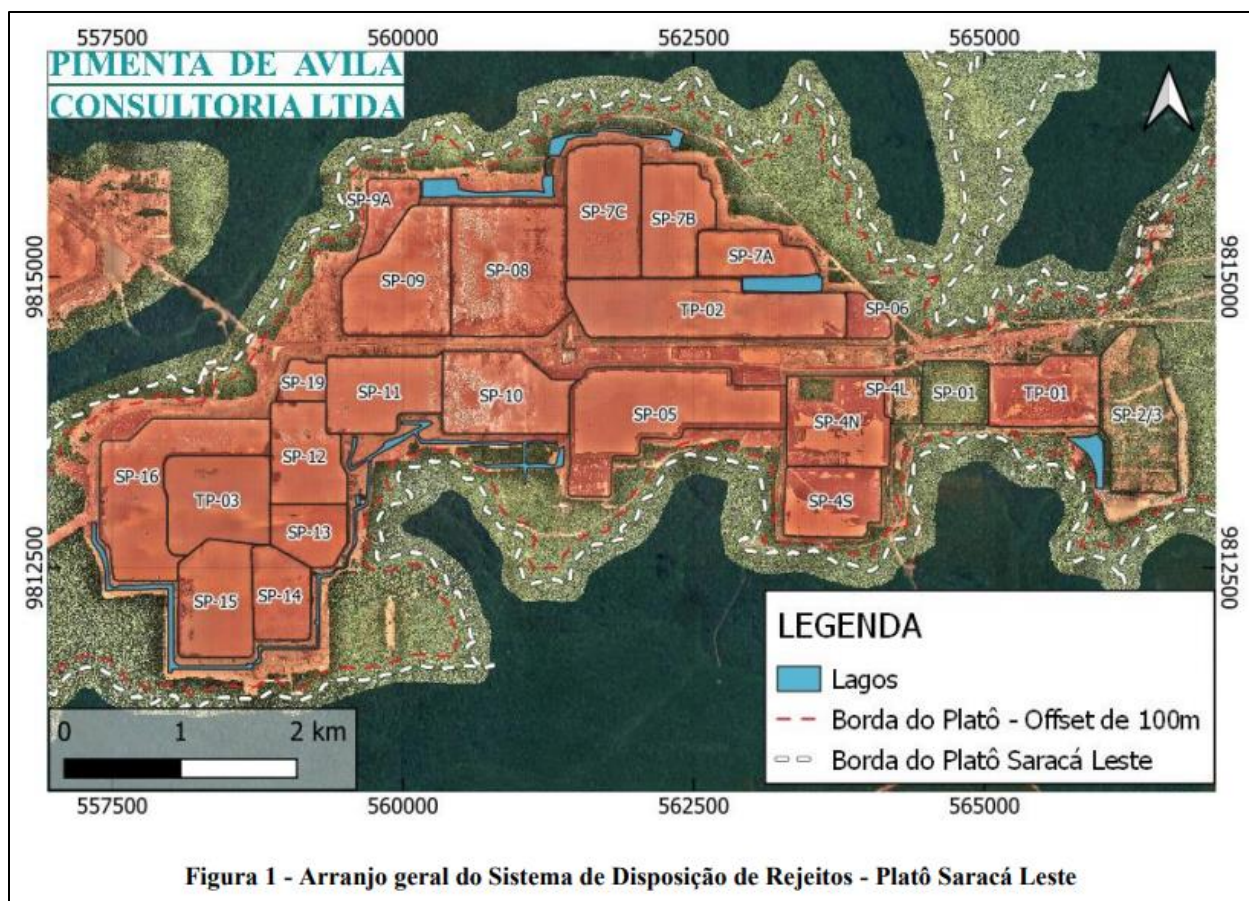


Figura 2. Os rejeitos de bauxita da mina MRN são armazenados atrás de 30 barragens de rejeitos, das quais 25 estão ativas (ver Tabela 2a). As três barragens de rejeitos TP (Thickening Pond [Lagoa de Espessamento]) recebem rejeitos da planta de processamento com um teor de sólidos de 7 a 8%. Os rejeitos atingem um teor de sólidos de até 25% nas barragens TP, e os rejeitos com um teor de sólidos na faixa de 18 a 25% são transferidos para uma das 22 barragens SP (Settlement Pond [Lagoa de Decantação]) ativas, onde os rejeitos se tornam mais densos, atingindo um teor de sólidos de 55%. Figura da Pimenta de Ávila Consultoria (2025).

Ocorreram inúmeras alterações nas descrições dos métodos de construção de barragens. Por exemplo, em julho de 2019, na sequência da proibição do método a montante no Brasil, as descrições foram alteradas de a montante para etapa única em 10 barragens de rejeitos, de a montante para linha de centro em oito barragens de rejeitos, e de linha de centro para a jusante em uma barragem de rejeitos (Angelo, 2024; ver Tabela 3). Duas das barragens de rejeitos que haviam sido reclassificadas do método a montante para o método de linha de centro foram novamente reclassificadas para o método a montante em junho de 2020 (Angelo, 2024; ver Tabela 3). Ambas as barragens a montante (SP2_3 e SP6) estão atualmente listadas como “em descaracterização” (ver Tabela 2a). Vale ressaltar que as regulamentações brasileiras não fazem distinção entre barragens de rejeitos construídas pelo método a montante e barragens de rejeitos cujo método de construção é desconhecido. Assim, a categoria completa nas regulamentações brasileiras é “Alteamento a montante ou desconhecido” (ANM, 2022). Não há indicação nas regulamentações brasileiras de que alterações no método construtivo precisem ser fundamentadas por quaisquer relatórios, e não há tais relatórios no site da ANM (2025).



Figura 3. Uma imagem feita por drone mostra um alto nível de água sobrenadante em todas as barragens de rejeitos visíveis. Foto do Angelo (2024).

Tabela 2a. Barragens de rejeitos na mina Mineração Rio do Norte: Características¹

Nome	Situação Operacional	Método Construtivo ²	Altura Atual (m)	Volume Atual (m ³)	Inclinação ³
Rejeitos Convencionais					
TP1	Ativa	Etapa única	21,90	8.081.753	Ingrime
TP2	Ativa	Etapa única	19,50	8.553.763	Ingrime
TP3	Ativa	Jusante	17,00	393.105	Ingrime
Rejeitos Espessados					
SP1	Em descaracterização	Etapa única	18,00	2.020.000	Ingrime
SP2_3	Em descaracterização	Montante	23,20	5.930.000	Ingrime
SP4 Norte	Ativa	Linha de centro	26,50	6.591.525	Ingrime
SP4 Sul	Inativa	Linha de centro	24,50	5.561.881	Ingrime
SP5 Leste	Ativa	Linha de centro	19,00	4.862.470	Ingrime
SP5 Oeste	Ativa	Linha de centro	23,00	7.307.263	Ingrime
SP6	Em descaracterização	Montante	16,50	452.668	Ingrime
SP7A	Ativa	Linha de centro	21,00	3.366.545	Ingrime
SP7B	Ativa	Linha de centro	22,60	6.170.901	Ingrime
SP7C	Ativa	Linha de centro	31,70	8.479.518	Ingrime
SP8	Ativa	Etapa única	24,00	13.470.794	Ingrime
SP9	Ativa	Etapa única	26,50	10.390.038	Ingrime
SP9A	Em descaracterização	Etapa única	21,00	2.273.801	Ingrime
SP10	Ativa	Etapa única	16,00	7.478.190	Ingrime
SP11	Ativa	Etapa única	23,90	7.203.429	Ingrime
SP12	Ativa	Etapa única	18,75	5.441.986	Ingrime
SP13	Ativa	Etapa única	15,00	2.911.650	Ingrime
SP14	Ativa	Etapa única	22,40	3.414.032	Ingrime
SP15	Ativa	Etapa única	20,50	5.164.041	Ingrime
SP16	Ativa	Etapa única	18,00	8.450.323	Ingrime
SP19	Ativa	Jusante	22,30	1.600.266	Ingrime
SP-24A	Ativa	Etapa única	7,00	0	Intermediário
SP-24B	Ativa	Etapa única	7,00	0	Intermediário
SP-24C	Ativa	Etapa única	7,00	0	Intermediário
SP-25A	Ativa	Etapa única	7,00	349.972	Intermediário
SP-25B	Ativa	Etapa única	7,00	308.877	Intermediário
SP-25C	Ativa	Etapa única	7,00	595.513	Intermediário

¹ Dados da ANM (2025)

² A descrição completa de “montante” da ANM (2022) é “Alteamento a montante ou desconhecido”.

³ Ingrime significa > 1V:2H, Intermediário significa 1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H

Tabela 2b. Barragens de rejeitos na mina Mineração Rio do Norte: Categoria de Risco e Dano Potencial Associado^{1,2}

Nome	Categoria de Risco		Dano Potencial Associado	
	Faixa de Classificação	Pontuação (CRI)	Faixa de Classificação	Pontuação (DPA)
Rejeitos Convencionais				
TP1	MÉDIO	42	ALTO	22
TP2	MÉDIO	48	ALTO	22
TP3	BAIXO	23	MÉDIO	10
Rejeitos Espessados				
SP1	BAIXO	31	MÉDIO	12
SP2_3	BAIXO	38	MÉDIO	12
SP4 Norte	MÉDIO	43	MÉDIO	12
SP4 Sul	BAIXO	35	MÉDIO	12
SP5 Leste	BAIXO	33	MÉDIO	11
SP5 Oeste	BAIXO	31	MÉDIO	12
SP6	BAIXO	30	MÉDIO	11
SP7A	MÉDIO	43	MÉDIO	11
SP7B	BAIXO	34	MÉDIO	12
SP7C	MÉDIO	43	MÉDIO	12
SP8	BAIXO	33	MÉDIO	12
SP9	BAIXO	29	MÉDIO	12
SP9A	BAIXO	24	MÉDIO	8
SP10	BAIXO	27	MÉDIO	12
SP11	BAIXO	27	MÉDIO	12
SP12	BAIXO	23	MÉDIO	12
SP13	BAIXO	22	MÉDIO	11
SP14	BAIXO	23	MÉDIO	8
SP15	BAIXO	19	MÉDIO	12
SP16	BAIXO	19	MÉDIO	12
SP19	BAIXO	22	MÉDIO	11
SP-24A	BAIXO	12	MÉDIO	10
SP-24B	BAIXO	15	MÉDIO	10
SP-24C	BAIXO	15	MÉDIO	10
SP-25A	BAIXO	9	MÉDIO	10
SP-25B	BAIXO	9	MÉDIO	10
SP-25C	BAIXO	9	MÉDIO	11

¹ Dados da ANM (2025)

² Vermelho indica Categoria de Risco MÉDIO ou Dano Potencial Associado ALTO

Tabela 3. Alterações na descrição do método de construção de barragens^{1,2}

Barragem de Rejeitos	Fecha de Alteração	Alteração	Fecha de Alteração	Alteração
TP1	7/2019	montante → etapa única	—	—
TP2	7/2019	montante → etapa única	—	—
TP3	7/2019	linha de centro → jusante	—	—
SP2/3	7/2019	montante → linha de centro	6/2020	linha de centro → montante
SP4 Norte	7/2019	montante → linha de centro	—	—
SP5 Leste	7/2019	montante → linha de centro	—	—
SP5 Oeste	7/2019	montante → linha de centro	—	—
SP6	7/2019	montante → linha de centro	6/2020	linha de centro → montante
SP7A	7/2019	montante → linha de centro	—	—
SP7B	7/2019	montante → linha de centro	—	—
SP7C	7/2019	montante → linha de centro	—	—
SP8	7/2019	montante → etapa única	—	—
SP9	7/2019	montante → etapa única	—	—
SP9A	7/2019	montante → etapa única	—	—
SP12	7/2019	montante → etapa única	—	—
SP13	7/2019	montante → etapa única	—	—
SP14	7/2019	montante → etapa única	—	—
SP15	7/2019	montante → etapa única	—	—
SP16	7/2019	montante → etapa única	—	—

¹Dados de Angelo (2024)

²A descrição completa de “montante” da ANM (2022) é “Alteamento a montante ou desconhecido”.

Tipicamente, o risco de falha de uma barragem de rejeitos refere-se à combinação (ou ao produto) da probabilidade de falha e das consequências da falha. Nesse aspecto, a regulamentação brasileira é um tanto confusa, na medida em que a cada barragem de rejeitos é atribuída uma “Categoria de Risco” (correspondendo, grosso modo, à probabilidade de falha) e um “Dano Potencial Associado” (DPA) (correspondendo às consequências da falha). Neste relatório, a palavra “risco” será utilizada no sentido genérico de uma combinação de probabilidade e consequências, ao passo que a expressão “Categoria de Risco” será empregada no sentido em que é definida na regulamentação brasileira (ANM, 2022). A “Categoria de Risco” não constitui, literalmente, uma probabilidade, mas sim um número obtido a partir de um sistema de pontuação que leva em consideração dez Características Técnicas, cinco aspectos do Estado de Conservação e cinco aspectos do Plano de Segurança da Barragem. Poderia ser possível utilizar a Categoria de Risco para estimar a probabilidade real de falha, mas isso nunca foi feito. De modo semelhante, o “Dano Potencial Associado” (DPA) não constitui um levantamento exaustivo de todas as consequências de uma falha, mas sim um sistema de pontuação que leva em consideração o volume do reservatório, a existência de uma população a jusante, o impacto ambiental e o impacto socioeconômico.

Das 30 barragens de rejeitos, cinco (TP1, TP2, SP4 Norte, SP7A, SP7C) são classificadas na Categoria de Risco Médio, sendo as demais classificadas na Categoria de Risco Baixo. Por sua vez, duas barragens de rejeitos (TP1, TP2) são classificadas com DPA Alto, sendo as demais classificadas com DPA Médio (ver Tabela 2b). Assim como ocorreu com o método construtivo,

diversas alterações foram verificadas nas Categorias de Risco. Por exemplo, entre março e abril de 2024, as Categorias de Risco de cinco barragens de rejeitos (TP1, TP2, SP4 Norte, SP7A, SP7C) foram alteradas de Baixo para Médio (Angelo, 2024; ANM, 2025; ver Tabela 4). Numerosas alterações anteriores, tanto na Categoria de Risco quanto no Dano Potencial Associado (DPA), estão listadas em Angelo (2024). Para o período de 2017 a 2023, Angelo (2024) documentou 29 alterações na Categoria de Risco. A inclusão de outras cinco alterações em 2024 (ver Tabela 4) resulta em um total de 34 alterações ao longo de 8 anos. Assim, quatro a cinco alterações por ano tem sido o padrão. Deve-se notar que a resposta de MRN (2024) a Angelo (2024) não abordou, de forma alguma, as inúmeras alterações no método construtivo, na Categoria de Risco ou no Dano Potencial Associado.

Tabela 4. Alterações na Categoria de Risco em 2023 e 2024¹

Barragem de Rejeitos	Fecha	Alteração	Fecha	Alteração
TP1	2023	Médio → Baixo	abril de 2024	Baixo → Médio
TP2	2023	Médio → Baixo	abril de 2024	Baixo → Médio
SP1	março de 2023	Médio → Baixo	—	—
SP4 Norte	—	—	março de 2024	Baixo → Médio
SP4 Sul	março de 2023	Médio → Baixo	—	—
SP7A	—	—	abril de 2024	Baixo → Médio
SP7C	—	—	abril de 2024	Baixo → Médio
SP19	2023	Médio → Baixo	—	—

¹Dados de Angelo (2024) e da ANM (2025)

O objetivo deste relatório é avaliar o risco de falha catastrófica das barragens de rejeitos na mina MRN, tanto em termos da probabilidade quanto das consequências de tal falha, especialmente com base nas informações reportadas pela mineradora à Agência Nacional de Mineração (ANM) e que se encontram publicamente disponíveis no Brasil, no site da ANM. A falha crônica das barragens de rejeitos, caracterizada pelo vazamento de contaminantes para fora das estruturas sem que ocorra, de fato, a ruptura das barragens, foi documentada em outros relatórios (Andrade, 2018; Borges e Bradford, 2020) e foge ao escopo deste relatório. Avaliações anteriores do risco de falha catastrófica das barragens de rejeitos da mina MRN incluem Wanderly (2021) e D’Andrea (2023). Com o objetivo de facilitar a leitura por não especialistas, este relatório inclui um tutorial sobre barragens de rejeitos, abrangendo os métodos de construção das barragens de rejeitos, as diferenças entre barragens de rejeitos e barragens de retenção de água, a liquefação, os mecanismos de falha de barragens de rejeitos, os perigos do método construtivo a montante, as diferenças entre análises de ruptura de barragens determinísticas (computacionais) e empíricas (estatísticas), bem como as regulamentações brasileiras pertinentes sobre barragens de rejeitos. O tutorial é seguido por um resumo mais detalhado das barragens de rejeitos da mina MRN, após o qual o objetivo é subdividido em uma sequência de seis questões. Visto que os extensos dados sobre barragens de rejeitos disponíveis no site da ANM não estão acessíveis fora do Brasil, informações-chave sobre cada barragem de rejeitos da mina MRN são fornecidas nos anexos deste relatório (ver Anexos A-AD). Todas as informações provenientes do site da ANM foram baixadas em novembro de 2025.

TUTORIAL SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS

Métodos de Construção de Barragens de Rejeitos

A rocha estéril, a rocha que deve ser removida para se alcançar o corpo de minério, é frequentemente depositada na forma de uma pilha de rocha estéril autoportante. Em contrapartida, por serem úmidos e de granulação fina, os rejeitos requerem confinamento atrás de uma barragem (ver Fig. 4). Na gestão convencional de rejeitos (sem o espessamento dos rejeitos), os rejeitos úmidos são transportados por tubo até a instalação de armazenamento de rejeitos, sem qualquer desaguamento. A mistura de rejeitos e água é, então, descarregada na barragem de rejeitos a partir da crista da barragem, por meio de torneiras que se conectam a um tubo proveniente da planta de processamento de minério. Devido ao baixo teor de sólidos, os rejeitos não podem ser compactados mecanicamente na instalação de armazenamento de rejeitos.

Os rejeitos podem ser divididos em duas frações de tamanhos com propriedades físicas muito distintas, sendo os rejeitos grossos ou areias (maiores que 0,075 mm) e os rejeitos finos ou limos (menores que 0,075 mm). A descarga hidráulica resulta na separação das frações de tamanho dos rejeitos por gravidade. Os grãos de areia maiores depositam-se mais próximos da barragem, formando uma praia. Os limos menores e a água deslocam-se para mais longe da barragem, formando uma lagoa de decantação, onde os limos se depositam lentamente, saindo da suspensão (ver Fig. 4). Tipicamente, a água é recuperada da lagoa de decantação e bombeada de volta para a operação de mineração.

Atualmente, é comum espessar os rejeitos antes de seu transporte para a instalação de armazenamento de rejeitos. Assim, os rejeitos convencionais (sem espessamento) apresentam teores de sólidos na faixa de 20% a 40%, enquanto os rejeitos espessados de alta densidade ou em pasta apresentam teores de sólidos na faixa de 60% a 75%. Os rejeitos filtrados apresentam teores de sólidos superiores a 80% e não podem ser bombeados, devendo ser transportados até a instalação de armazenamento de rejeitos por meio de correias transportadoras ou caminhões. Apenas os rejeitos filtrados possuem um teor de sólidos suficientemente elevado para permitir sua compactação na instalação de armazenamento de rejeitos (Klohn Crippen Berger, 2017). Assim, com um teor de sólidos de 7-8%, os rejeitos nas três barragens TP (Lagoa de Espessamento) da mina MRN são muito mais úmidos do que o que seria considerado rejeitos convencionais. Com um teor de sólidos de 18-25%, os rejeitos ainda seriam considerados “convencionais” no ponto de transferência para uma das barragens SP (Lagoa de Decantação). Mesmo o espessamento (até um teor de sólidos de 55%) dentro das barragens SP não enquadraria os rejeitos na categoria de rejeitos espessados de alta densidade ou em pasta.



Figura 4. Na instalação de armazenamento de rejeitos da mina Highland Valley Copper, na Colúmbia Britânica, os rejeitos úmidos são descarregados na direção a montante de um tubo e torneiras ao longo da crista da barragem. Partículas maiores (areias) são depositadas perto da barragem para formar uma praia. Partículas menores (limos) são transportadas para mais longe da barragem para formar uma lagoa de decantação. A precipitação de cobre no reservatório de rejeitos indica a extração incompleta de cobre do minério. Foto tirada pelo autor em 27 de setembro de 2018.

Cada um dos três métodos comuns de construção de barragens de rejeitos (a montante, a jusante e de linha de centro) tem início com um dique inicial, o qual é construído a partir de solo natural, enrocamento, rocha estéril ou rejeitos provenientes de um episódio anterior de processamento de minério (ver Figs. 5a). Caso o dique inicial nunca seja alteado, a barragem de rejeitos é denominada barragem de etapa única. No método de construção a montante, diques sucessivos são construídos na direção a montante à medida que o nível dos rejeitos armazenados aumenta. É mais comum construir diques sucessivos a partir de rocha estéril ou da fração mais grossa dos rejeitos (tipicamente com compactação adequada). A vantagem do método reside em seu baixo custo, uma vez que é necessário muito pouco material para a construção da barragem (ver Fig. 5a). O método de construção a jusante é o mais dispendioso, pois requer a maior quantidade de material de construção (comparar Figs. 5a e 5b). Neste método, diques sucessivos são construídos na direção a jusante à medida que o nível dos rejeitos armazenados aumenta. O método de construção de linha de centro constitui um equilíbrio entre as vantagens e desvantagens dos métodos de construção a jusante e a montante (comparar Figs. 5a-c). Neste método, diques sucessivos são construídos mediante a deposição de material de construção na

praia e no talude, a jusante do dique anterior. As linhas centrais dos alteamentos coincidem à medida que a barragem é construída verticalmente (ver Fig. 5c).

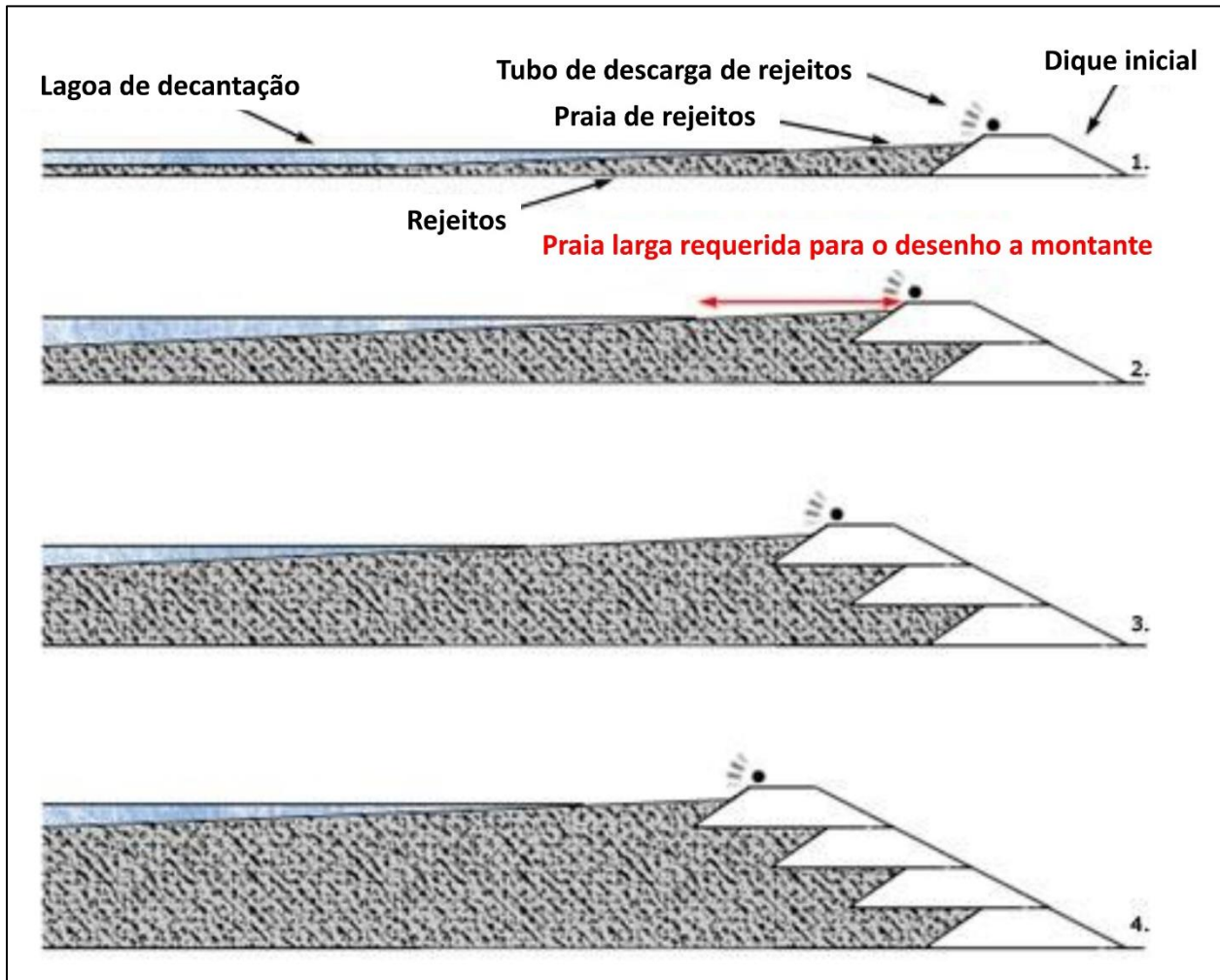


Figura 5a. No método de construção a montante, diques sucessivos são construídos na direção a montante, à medida que o nível de rejeitos armazenados aumenta. Os diques podem ser construídos com estériles de mina, solo natural, preenchimento de rocha natural ou a fração mais grossa de rejeitos (com compactação adequada). A vantagem do método é seu baixo custo, porque é necessário muito pouco material para a construção da barragem. A desvantagem é que a barragem é suscetível a falhas devido à liquefação sísmica ou estática porque os rejeitos úmidos não compactados estão abaixo da barragem. Por esse motivo, o método de construção a montante é ilegal no Brasil, Chile, Equador e Peru. As barragens construídas por esse método também são suscetíveis a falhas de inundação quando a praia é muito estreita devido a uma quantidade insuficiente de areia nos rejeitos descarregados ou água em excesso na lagoa de decantação. Figura do TailPro Consulting (2025) com sobreposição de etiquetas em português.

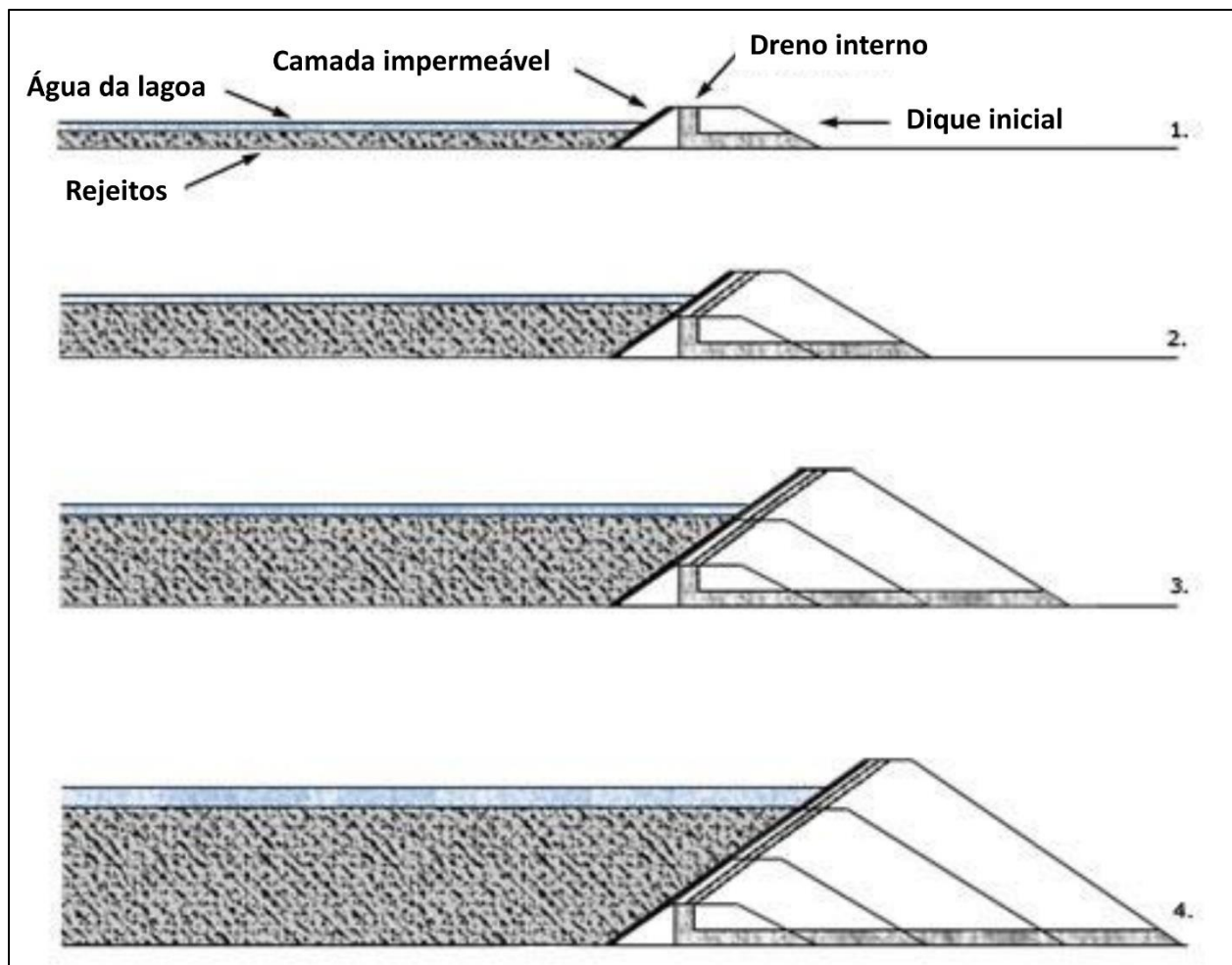


Figura 5b. No método de construção a jusante, diques sucessivos são construídos na direção a jusante, à medida que o nível de rejeitos armazenados aumenta. Os diques podem ser construídos com estériles de mina, solo natural, preenchimento de rocha natural ou a fração mais grossa de rejeitos (com compactação adequada). A resistência à liquefação sísmica e estática é alta porque não há rejeitos não compactados abaixo da barragem. A desvantagem do método é seu alto custo devido à quantidade de material necessário para construir os diques (comparar os volumes dos diques nas Figs. 5a e 5b). Figura do TailPro Consulting (2025) com sobreposição de etiquetas em português.

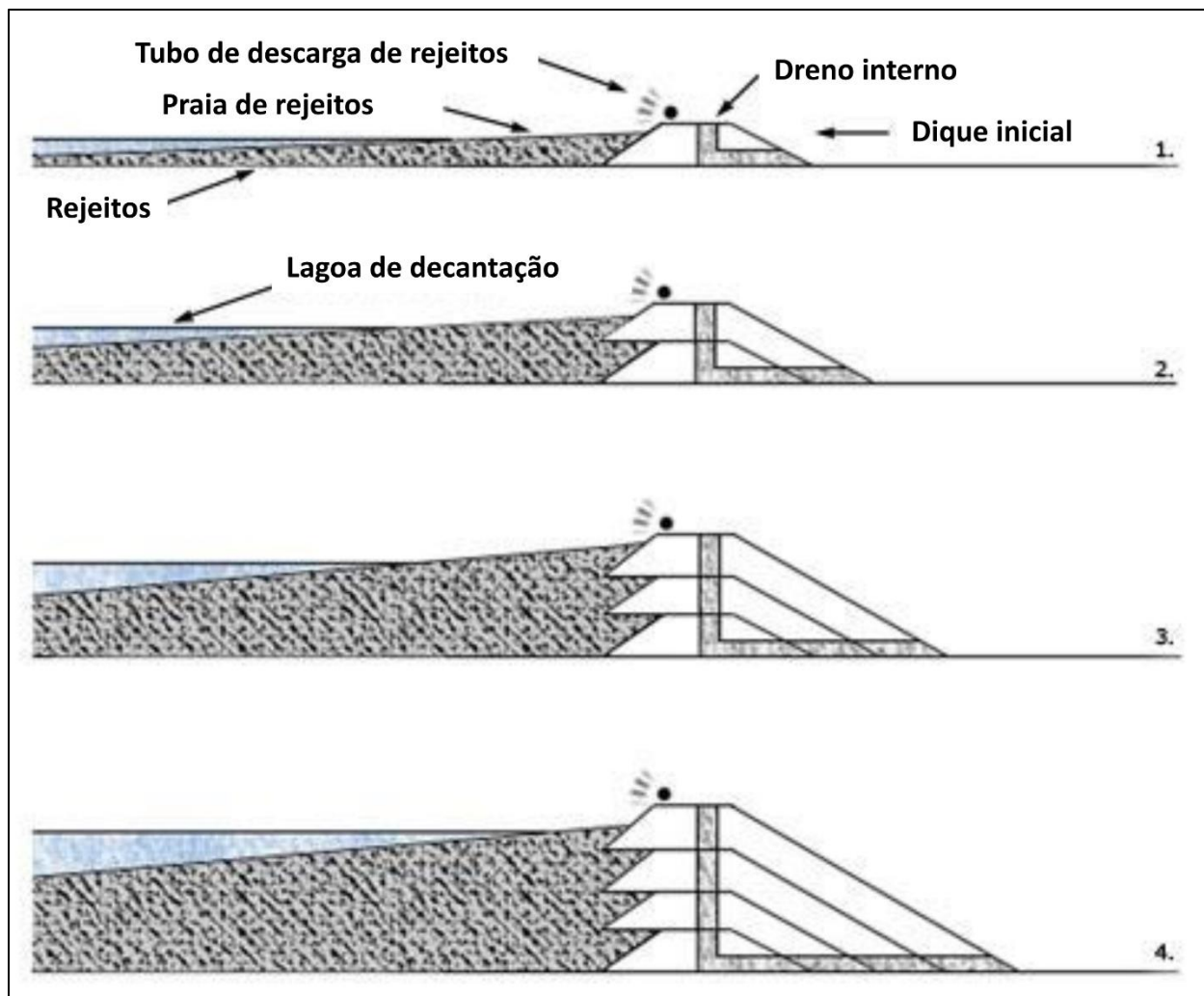


Figura 5c. No método de construção de linha de centro, diques sucessivos são construídos colocando material de construção na praia e na encosta a jusante do dique anterior. As linhas de centro das elevações coincidem à medida que a barragem é construída para cima. Os diques podem ser construídos com estériles de mina, solo natural, preenchimento de rocha natural ou a fração mais grossa de rejeitos (com compactação adequada). O método de linha de centro é intermediário entre os métodos a montante e a jusante (ver Figs. 5a-b) em termos de custo e risco de falha. A resistência à liquefação sísmica e estática é moderada, porque ainda existem alguns rejeitos não compactados abaixo dos diques. Ainda é necessário manter uma praia adequada para evitar inundações na barragem. Figura do TailPro Consulting (2025) com sobreposição de etiquetas em português.

Não surpreende que os métodos de construção menos dispendiosos sejam também mais vulneráveis a falhas. As barragens de rejeitos construídas pelo método a montante são especialmente vulneráveis a falhas, seja por liquefação sísmica ou estática, pois a barragem é construída sobre os rejeitos não compactados (ver Fig. 5a). Assim, mesmo que a barragem mantenha temporariamente sua integridade estrutural enquanto os rejeitos subjacentes se liquefazem, ela poderá falhar, seja desmoronando para dentro dos rejeitos liquefeitos ou deslizando sobre eles. As barragens construídas pelo método de linha de centro mantêm certa vulnerabilidade à falha durante a liquefação, pois ainda existem alguns rejeitos não compactados sob os diques (ver Fig. 5c). Por outro lado, uma barragem de rejeitos construída utilizando o método a jusante poderia resistir à liquefação completa dos rejeitos armazenados detrás da barragem (ver Fig. 5b). Naturalmente, um projeto e uma construção adequados continuam sendo

necessários para prevenir a liquefação da própria barragem, mesmo quando o método a jusante é empregado. O fenômeno da liquefação é explicado nas subseções “Liquefação” e “Mecanismos de Falha de Barragens de Rejeitos”.

Sob outra perspectiva, uma barragem a montante é construída sobre uma fundação desconhecida (ver Fig. 5a; Fuller, 2019). O conhecimento preciso da fundação constitui um aspecto essencial da segurança de barragens, uma vez que tanto barragens de rejeitos quanto barragens de retenção de água já falharam devido à deformação ou ao assentamento da fundação. As propriedades geotécnicas dos rejeitos subjacentes aos diques podem ser previstas, mas não são efetivamente conhecidas até que possam ser medidas após a construção dos diques sobre eles. Da mesma forma, a evolução futura dos rejeitos (por exemplo, devido à compactação pelos diques sobrejacentes ou à secagem dos rejeitos) pode ser prevista, mas não é efetivamente conhecida até que o futuro tenha ocorrido. Essa característica das barragens a montante as distingue de qualquer outro tipo de barragem, nas quais as propriedades geotécnicas da fundação podem e devem ser um dado conhecido antes da construção da barragem. As diferenças entre barragens de rejeitos e barragens de retenção de água serão discutidas mais detalhadamente na próxima subseção, seguida por uma revisão do fenômeno da liquefação.

Como nota final, o site do MRN pergunta: “Você sabe a diferença entre barragens e reservatórios?” e responde: “Os reservatórios da MRN estão no alto de um platô e recebem somente a água da chuva que cai naquela área. Eles diferem de barragens localizadas em vales, que recebem o volume de chuvas de todos os cursos d’água da bacia de contribuição” (MRN, 2025b). A distinção precedente entre “barragem” e “reservatório” não possui base no vocabulário padrão da mineração. A “barragem de rejeitos” abrange tanto a estrutura de confinamento quanto o material confinado (os rejeitos). De acordo com o Australian National Committee on Large Dams [Comitê Nacional Australiano sobre Grandes Barragens] (ANCOLD), a “*tailings dam*” [barragem de rejeitos] é “*a structure or embankment that is built to retain tailings and/or to manage water associated with the storage of tailings, and includes the contents of the structure*” [uma estrutura ou aterro construído para reter rejeitos e/ou para gerenciar a água associada ao armazenamento de rejeitos, e que inclui o conteúdo da estrutura] (ANCOLD, 2012, 2019). De acordo com o Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos (GISTM), the “reservatório” é o “depósito e lagoa de rejeitos” (ICMM-UNEP-PRI, 2020). Assim, o “reservatório” constitui uma parte da “barragem de rejeitos”, sendo a porção que abrange os rejeitos e a lagoa sobrejacente. A inclusão padrão do reservatório como parte da barragem de rejeitos, adotada pela indústria, nada tem a ver com platôs e vales, conforme afirmado pela MRN (2025b).

Barragens de Rejeitos vs. Barragens de Retenção de Água

Embora as barragens de rejeitos e as barragens de retenção de água sejam ambas construídas com o propósito de restringir o fluxo de água ou de resíduos contendo água, elas constituem tipos fundamentalmente distintos de estruturas de engenharia civil. Esse ponto importante foi enfatizado no livro-texto de Vick (1990), intitulado Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams [Planejamento, Projeto e Análise de Barragens de Rejeitos]. De acordo com Vick (1990), “*A recurring theme throughout the book is that there are significant differences between tailings embankment and water-retention dams ... Unlike dams constructed by government agencies for water-retention purposes, tailings dams are subject to rigid economic constraints defined in the context of the mining project as a whole. While water-retention dams produce economic benefits that presumably outweigh their cost, tailings dams*

are economic liabilities to the mining operation from start to finish. As a result, it is not often economically feasible to go to the lengths sometimes taken to obtain fill for conventional water dams” [Um tema recorrente ao longo do livro é a existência de diferenças significativas entre barragens de rejeitos e barragens de retenção de água ... Ao contrário das barragens construídas por órgãos governamentais para fins de retenção de água, as barragens de rejeitos estão sujeitas a rígidas restrições econômicas, definidas no contexto do projeto de mineração na totalidade. Enquanto as barragens de retenção de água geram benefícios econômicos que, presumivelmente, superam seus custos, as barragens de rejeitos constituem passivos econômicos para a operação de mineração, do início ao fim. Consequentemente, muitas vezes não é economicamente viável empreender os esforços, por vezes extremos, que são realizados para a obtenção de material de aterro para barragens convencionais de água].

Além da inviabilidade econômica de percorrer as distâncias que, por vezes, seriam ideais para a obtenção de material de aterro adequado, Vick (1990) apresenta muitos outros exemplos de situações nas quais não é economicamente viável construir uma barragem de rejeitos da mesma maneira que uma barragem de retenção de água. Uma barragem de retenção de água em terra é construída a partir de rocha e solo selecionados especificamente por sua adequação à construção de barragens. No entanto, uma barragem de rejeitos é normalmente construída com materiais de construção gerados pela própria operação de mineração, tais como rocha estéril, a fração mais grossa dos rejeitos, ou enrocamento e aterro extraídos do local da mina. Além disso, uma barragem de retenção de água é construída integralmente, desde o início, antes que seu reservatório seja preenchido com água, enquanto uma barragem de rejeitos é construída em etapas, à medida que mais rejeitos são produzidos e requerem armazenamento, que mais material proveniente da operação de mineração (como rocha estéril) se torna disponível para a construção, e que o financiamento para as etapas subsequentes da obra se torna disponível. As implicações da construção em etapas foram resumidas no Tailings Management Handbook [Manual de Gestão de Rejeitos de Mineração] da SME (Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade para Mineração, Metalurgia e Exploração]). De acordo com Snow (2022), “*The construction of a TSF [Tailings Storage Facility] over an operational period of many years or even decades introduces the potential for discontinuity in construction oversight, quality control, monitoring, and recognition of performance factors that can affect operation and safety*” [A construção de uma TSF [Instalação de Armazenamento de Rejeitos] ao longo de um período operacional de muitos anos, ou mesmo décadas, introduz o potencial de descontinuidade na supervisão da construção, no controle de qualidade, no monitoramento e no reconhecimento de fatores de desempenho que podem afetar a operação e a segurança].

As consequências das construções muito diferentes de barragens de rejeitos e barragens de retenção de água são os registros de segurança muito diferentes dos dois tipos de estruturas. De acordo com um artigo amplamente citado de Davies (2002), “*It can be concluded that for the past 30 years, there have been approximately 2 to 5 ‘major’ tailings dam failure incidents per year ... If one assumes a worldwide inventory of 3500 tailings dams, then 2 to 5 failures per year equates to an annual probability somewhere between 1 in 700 to 1 in 1750. This rate of failure does not offer a favorable comparison with the less than 1 in 10,000 that appears representative for conventional dams. The comparison is even more unfavorable if less ‘spectacular’ tailings dam failures are considered. Furthermore, these failure statistics are for physical failures alone. Tailings impoundments can have environmental ‘failure’ while maintaining sufficient structural integrity (e.g. impacts to surface and ground waters)*” [Pode-se concluir que, nos últimos 30 anos, ocorreram aproximadamente de 2 a 5 incidentes de falha de barragens de rejeitos de caráter

“grave” por ano ... Se considerarmos um inventário mundial de 3.500 barragens de rejeitos, então de 2 a 5 falhas por ano equivalem a uma probabilidade anual situada entre 1 em 700 e 1 em 1.750. Essa taxa de falhas não oferece uma comparação favorável com o índice inferior a 1 em 10.000, que parece ser representativo para barragens convencionais. A comparação torna-se ainda mais desfavorável se forem consideradas as falhas de barragens de rejeitos menos “espetaculares”. Além disso, essas estatísticas de falha referem-se exclusivamente a falhas físicas. As barragens de rejeitos podem apresentar uma “falha” ambiental mesmo mantendo integridade estrutural suficiente (por exemplo, impactos nas águas superficiais e subterrâneas)]. Tanto o número total de barragens de rejeitos quanto o número de falhas em barragens de rejeitos citados por Davies (2002) são, provavelmente, subestimados. No entanto, o Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel [Painel Independente de Investigação e Revisão de Engenharia por Especialistas] (2015) que investigou a falha da barragem de rejeitos na mina Mount Polley constatou uma taxa de falha semelhante em barragens de rejeitos, de 1 em 600 por ano (probabilidade anual de falha de 0,17%), durante o período de 1969 a 2015 na Colúmbia Britânica (Canadá). A investigação realizada pelo painel de especialistas de Mount Polley envolveu a documentação rigorosa de todas as falhas de barragens de rejeitos na Colúmbia Britânica, bem como a documentação dos anos de operação ativa de cada barragem de rejeitos na região. Atualmente, não existem outras estimativas regionais confiáveis do tipo realizado pelo painel de especialistas de Mount Polley.

Ocorreram onze falhas catastróficas de barragens de rejeitos em minas de alumínio no período de 1964 a 2024, o que corresponde a uma média de uma falha a cada 5,5 anos (ver Tabela 5). O ritmo das falhas catastróficas acelerou entre 2016 e 2024, período no qual foram documentadas seis falhas, correspondendo a uma média de uma falha catastrófica a cada 1,3 ano (ver Tabela 5). Assim, as falhas de barragens de rejeitos em minas de alumínio constituem uma fração significativa das “aproximadamente de 2 a 5 falhas de barragens de rejeitos de caráter “grave” por ano que foram estimados por Davies (2002). Falhas notáveis incluem a falha na mina Luoyang Xiangjiang Wanji Aluminum, na China, em 2016, que liberou 100% dos rejeitos armazenados (2 milhões de metros cúbicos) (Center for Science in Public Participation [Centro para a Ciência na Participação Pública], 2025), e a falha na mina MAL Magyar Aluminum, na Hungria, em 2010, que resultou em 10 mortes (ver Tabela 5).

A discussão precedente contrasta, em grande medida, barragens de rejeitos e barragens de retenção de água que se encontram em operação ativa. Ao final de sua vida útil, ou quando já não for mais possível inspecionar e realizar a manutenção da barragem, uma barragem de retenção de água é completamente desmantelada. Uma barragem de retenção de água não pode simplesmente ser abandonada, sob o risco de, eventualmente, falhar em um momento imprevisível, acarretando consequências de difícil previsão. No entanto, a questão do armazenamento permanente de rejeitos, já mencionada diversas vezes, nunca será enfatizada o suficiente. Uma barragem de rejeitos jamais poderá ser desmantelada, a menos que os rejeitos possam ser transferidos para outro local, tal como uma cava a céu aberto exaurida. Tipicamente, espera-se que uma barragem de rejeitos contenha os rejeitos frequentemente tóxicos perpetuamente, embora, normalmente, a inspeção, o monitoramento, a manutenção e a revisão da barragem cessem em algum momento após o término do projeto de mineração.

Tabela 5. Falhas documentadas em barragens de rejeitos em minas de alumínio¹

Mina e Localização	País	Ano	Volume de Liberação (m³)	Distância de Escoamento (km)	Mortes
Empresa Vedanta, Distrito de Kalahandi, Odisha	Índia	2024	—	0.3	—
Shanxi Daoer Aluminum Co., Município de Wenquan, Condado de Jiaokou, Província de Shanxi	China	2022	224.000	—	—
Hindalco Industries Limited, Muri, Jharkhand	Índia	2019	—	0.2	—
Alunorte, Barcarena, Pará	Brasil	2018	—	—	—
Vedanta Aluminium Limited Smelter Ash Pond, Jharsuguda	Índia	2017	2.625.000	—	—
(Luoyang Xiangjiang Wanji Aluminum Co., Ltd., Luoyang, Aldeia de Dahegou Village, Província de Henan	China	2016	2.000.000	2	—
MAL Magyar Aluminum, Ajka Alumina Plant, Kolontár	Hungria	2010	1.000.000	—	10
Indústrias Químicas Cataguases, Mineração Rio Pomba Cataguases, Mirai, Minas Gerais	Brasil	2007	2.000.000	—	—
Indústrias Químicas Cataguases, Mineração Rio Pomba Cataguases, Mirai, Minas Gerais	Brasil	2006	400.000	—	—
Indústrias Químicas Cataguases, Mineração Rio Pomba Cataguases, Mirai, Minas Gerais	Brasil	2003	1.200.000	—	—
Ajka Alumina Plant, Kolontár	Hungria	1991	43.200	—	—
Alcoa, Texas	EUA	1964	—	—	—

¹Dados do Center for Science in Public Participation [Centro para a Ciência na Participação Pública] (2025)

A necessidade de manutenção perpétua das barragens de rejeitos é a posição da indústria de mineração, bem como do U.S. Forest Service [Serviço Florestal dos EUA]. De acordo com o Manual de Gestão de Rejeitos de Mineração da SME, “*The mining industry has a significant challenge in that these TSFs [Tailings Storage Facilities] will last for perpetuity. Unfortunately, humans have no experience in designing facilities to last forever, so responsible tailings management is required for as long as the TSF exists*” [A indústria da mineração enfrenta um desafio significativo, uma vez que essas TSFs [Instalações de Armazenamento de Rejeitos] perdurarão perpetuamente. Infelizmente, os seres humanos não possuem experiência no projeto

de instalações destinadas a durar para sempre; portanto, é necessária uma gestão responsável dos rejeitos enquanto a TSF existir (Morrison e Lammers, 2022). De acordo com Werner (2025), *“The U.S. Forest Service recently conducted a risk assessment of a mine facility on National Forest System lands using the failure modes and effects analysis (FMEA) methodology ... The exercise identified that the risk drivers were not the extreme events such as the probable maximum flood or maximum credible earthquake; rather, they were the smaller, chronic events like seasonal storms that impacted ancillary structures and facilities such as diversion ditches, or it was the failure of engineered systems such as underdrains and electronic monitoring stations that posed the greatest risks over time. The FMEA showed recurrent natural processes (such as wildfire, storm runoff, vegetation succession, slope creep, freeze thaw cycling) were the principal drivers behind eventual reclamation failure over an extended time horizon. This is due to the incremental degradation of individual component performance leading to more acute nonperformance and eventual system-wide breakdown ... The FMEA participants concluded that the natural processes that drove risk would always be present and would slowly degrade the reclaimed facilities over time. The only solution to maintaining system performance was a commitment to site care and maintenance — well, forever ... There is no expiration date on reclamation integrity, and mining companies should recognize their post-closure care and maintenance obligations may last far longer than they have currently planned for and, in some instances, may be a forever proposition”* [O Serviço Florestal dos EUA realizou recentemente uma avaliação de risco de uma instalação de mineração situada em terras do Sistema Florestal Nacional, utilizando a metodologia de Análise de Modos de Falha e Efeitos (FEMA). O exercício identificou que os fatores determinantes do risco não eram eventos extremos, tais como a inundação máxima provável ou o terremoto máximo crível, mas sim eventos menores e crônicos, como tempestades sazonais que afetavam estruturas e instalações auxiliares (a exemplo de valas de desvio), ou a falha de sistemas de engenharia, como drenos subterrâneos e estações de monitoramento eletrônico, que representavam os maiores riscos ao longo do tempo. A FMEA revelou que processos naturais recorrentes (tais como incêndios florestais, escoamento superficial decorrente de tempestades, sucessão vegetal, rastejo de taludes e ciclos de congelamento-descongelamento) constituíram os principais fatores determinantes para a eventual falha da recuperação ambiental ao longo de um horizonte temporal estendido. Tal fato decorre da degradação incremental do desempenho de componentes individuais, o que conduz a deficiências de desempenho mais agudas e, por fim, a uma falha sistêmica generalizada ... **Os participantes da FMEA concluíram que os processos naturais que impulsionavam o risco estariam sempre presentes e degradariam lentamente as instalações recuperadas ao longo do tempo. A única solução para manter o desempenho do sistema era um compromisso com o cuidado e a manutenção do local — bem, para sempre ... Não há prazo de validade para a integridade da recuperação ambiental, e as empresas de mineração devem reconhecer que suas obrigações de cuidado e manutenção pós-fechamento podem perdurar por um período muito mais longo do que o atualmente planejado e, em alguns casos, podem constituir um compromisso perpétuo**] (ênfase adicionada).

A necessidade de manutenção perpétua, bem como o realismo de tal perspectiva, foi discutida mais a fundo no documento de orientação [A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração](#). De acordo com Morrill et al. (2022), “É imperioso que a recuperação e a desativação de estruturas de rejeitos sejam incluídas no projeto inicial e na determinação do local ... Uma estrutura de rejeitos é fechada com segurança quando a

disposição de rejeitos cessar e todas as atividades relativas à desativação forem completadas, de forma que a estrutura passe a requerer apenas monitoramento rotineiro, inspeção e manutenção perpétuos ou até que não haja mais nenhum modo de falha plausível ... Atualmente, não existe nenhuma tecnologia que garanta que uma estrutura de disposição de rejeitos ativa possa ser desativada de forma a resistir a uma IMP [Inundação Máxima Provável] ou um SMP [Sismo Máximo Crível], por tempo indefinido, sem monitoramento, inspeção e manutenção perpétuos ... Tendo em vista que as empresas operadoras não existirão durante o tempo necessário para efetuar o monitoramento, inspeção, manutenção e revisão perpétuos, a capacidade de a empresa operadora eliminar definitivamente todos os modos de falha plausíveis deve ser uma consideração chave durante o processo de outorga. Se as agências reguladoras não crerem que a empresa operadora possa efetuar os cuidados perpétuos e arcar com essa responsabilidade financeira; ou eliminar todos os modos de falha plausíveis, não devem aprovar a estrutura”.

O significado da expressão “modo de falha plausível” merece cuidadosa consideração. O Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos (GISTM) esclarece que “o termo ‘modo de falha plausível’ não está associado a uma probabilidade de ocorrência desse evento” (ICMM-UNPE-PRI, 2020). Com base nisso, o documento A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração definiu “modo de falha plausível” como “uma sequência de eventos possíveis que pode potencialmente resultar na falha da barragem de rejeitos” (Morrill et al., 2022). O Manual de Gestão de Rejeitos de Mineração da SME esclareceu adicionalmente: “*While evaluating risks associated with PFMs [Potential Failure Modes], it is important to consider whether the failure modes are credible or plausible. Is the PFM conceivable or physically possible and is there a technical basis for its occurrence? A non-credible failure mode has a zero likelihood of occurrence*” [Ao avaliar os riscos associados aos PFMs [Modos Potenciais de Falha], é importante considerar se os modos de falha são críveis ou plausíveis. O PFM é concebível ou fisicamente possível, e existe uma base técnica para a sua ocorrência? Um modo de falha não plausível apresenta probabilidade zero de ocorrência] (Morrison e Byler, 2022). Deve ficar claro que existem pouquíssimas maneiras de eliminar todos os modos de falha plausíveis de uma instalação de superfície, exceto pela transferência dos rejeitos para uma localização subterrânea, tal como uma cava a céu aberto exaurida.

Em contrapartida, o autor do livro-texto Planejamento, Projeto e Análise de Barragens de Rejeitos (Vick, 1990) foi além, defendendo que a falha de uma barragem de rejeitos é inevitável, mesmo com monitoramento, inspeção, manutenção e revisão contínuos, simplesmente como consequência da infinidade de problemas que podem ocorrer com o tempo. Em uma apresentação em conferência, Vick (2014a) concluiu que “*System failure probabilities much less than 50/50 are unlikely to be achievable over performance periods greater than 100 years ... system failure probability approaches 1.0 after several hundred years*” [É improvável que probabilidades de falha do sistema muito inferiores a 50/50 sejam alcançáveis ao longo de períodos de desempenho superiores a 100 anos... a probabilidade de falha do sistema aproxima-se de 1,0 após várias centenas de anos]. Vick (2014a) continuou: “*For closure, system failure is inevitable ... so closure risk depends solely on failure consequences*” [Para fechamento, a falha do sistema é inevitável ... portanto, o risco de fechamento depende unicamente das consequências da falha]. No artigo de conferência que acompanhou esta apresentação]. Vick (2014b) elaborou: “*Regardless of the return period selected for design events, the cumulative failure probability will approach 1.0 for typical numbers of failure modes and durations. This has major implications. For closure conditions, the likelihood component of risk becomes unimportant and only the consequence component matters ... This counterintuitive result for*

closure differs so markedly from operating conditions that it bears repeating. In general, reducing failure likelihood during closure—through more stringent design criteria or otherwise—does not materially reduce risk, simply because there are too many opportunities for too many things to go wrong. In a statistical sense, all it can do is to push failure farther out in time. System failure must be accepted as inevitable, leaving reduction of failure consequences as the only effective strategy for risk reduction during closure” [Independente do período de retorno selecionado para os eventos de projeto, a probabilidade acumulada de falha se aproximará de 1,0 para números típicos de modos de falha e durações. Isso tem implicações significativas. Para as condições de fechamento, o componente de probabilidade do risco torna-se irrelevante, importando apenas o componente de consequência ... Este resultado contraintuitivo referente ao fechamento difere de forma tão acentuada das condições operacionais que merece ser reiterado. De modo geral, reduzir a probabilidade de falha durante o fechamento—seja por meio de critérios de projeto mais rigorosos ou de outras formas—não reduz materialmente o risco, simplesmente porque existem oportunidades em excesso para que coisas demais deem errado. Em um sentido estatístico, tudo o que se pode fazer é postergar a falha no tempo. A falha do sistema deve ser aceita como inevitável, restando a redução das consequências da falha como a única estratégia eficaz para a redução de riscos durante o fechamento].

Liquefação

Uma massa de rejeitos de mineração consiste em partículas sólidas de rocha, nas quais os poros entre as partículas são preenchidos por uma combinação de ar e água. Do ponto de vista da engenharia, uma massa de rejeitos de mineração é um tipo de solo. Naturalmente, sob uma perspectiva agrícola, um solo deve conter matéria orgânica e organismos, e ser capaz de sustentar o crescimento de plantas superiores. No entanto, essas propriedades biológicas não são relevantes para fins de engenharia. Uma excelente referência para informações mais completas sobre as propriedades de engenharia dos solos é Holtz et al. (2011). As expressões “solo” e “massa de rejeitos” serão utilizadas de forma intercambiável nesta subseção, que segue, em grande parte, a apresentação de Holtz et al. (2011).

Uma tensão normal corresponde a qualquer tensão que atue perpendicularmente a uma superfície (ver Fig. 6). Uma tensão normal atuando sobre um solo pode ser parcialmente contrabalançada pela pressão da água nos poros. A tensão efetiva é definida como a tensão normal menos a pressão da água nos poros. A tensão efetiva é uma medida da extensão em que as partículas sólidas estão interagindo ou “tocando” umas nas outras (ver Fig. 6). A tensão normal, sem a subtração da pressão da água nos poros, é também denominada tensão total.

O Princípio de Terzaghi estabelece que a resposta de uma massa de solo a uma alteração de tensão deve-se exclusivamente à alteração na tensão efetiva (Holtz et al., 2011). Por exemplo, supor que sedimentos sejam depositados em uma planície de inundação fluvial ou que rejeitos sejam descarregados hidráulica em um reservatório de rejeitos, sem compactação. O peso das partículas sólidas gera uma tensão normal, de modo que as partículas se consolidam sob o seu próprio peso. A magnitude e a taxa de consolidação são determinadas pela tensão efetiva, isto é, pela extensão em que as partículas interagem entre si. Uma pressão de água suficiente pode compensar a tensão normal, fazendo com que ocorra pouca consolidação, e a uma taxa lenta.

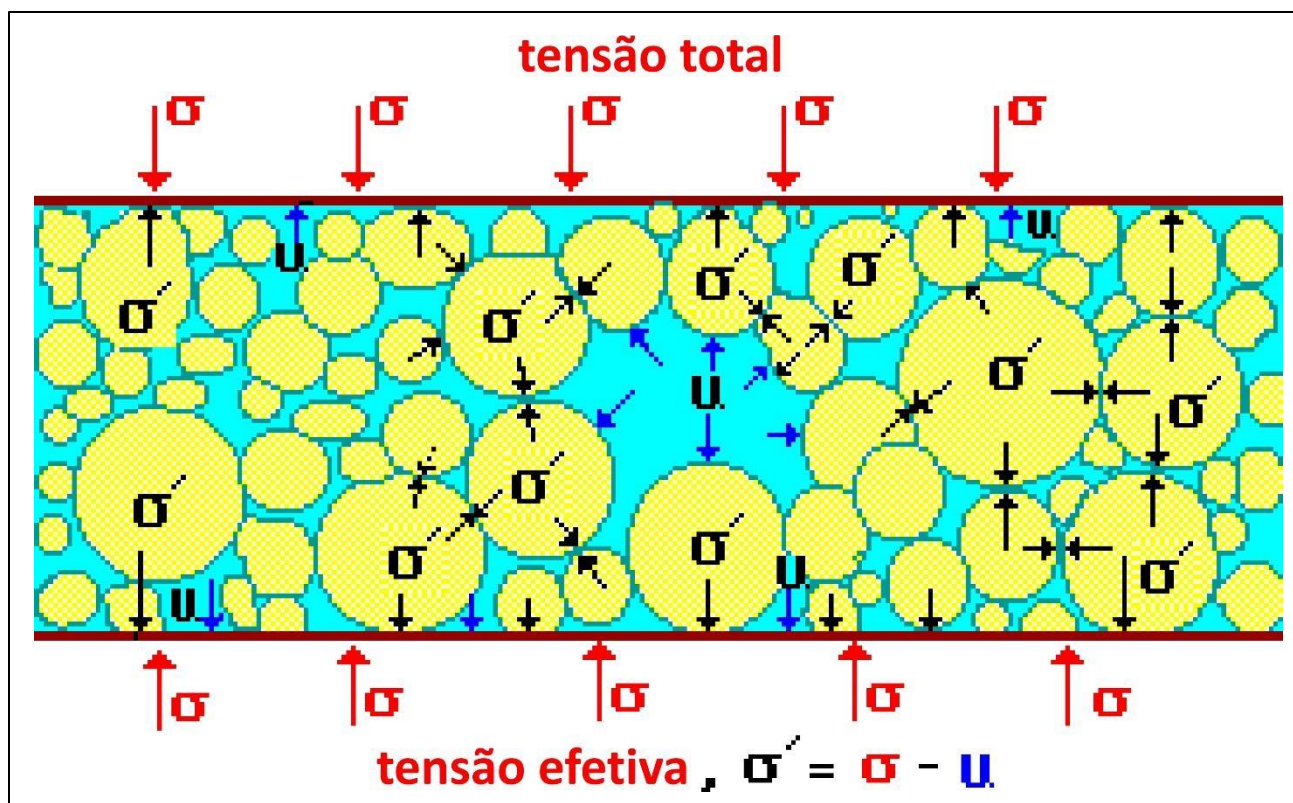


Figura 6. A tensão efetiva no solo é igual ao total menos a pressão da água dos poros. A tensão efetiva é uma medida da extensão em que as partículas sólidas estão interagindo ou “tocando” umas nas outras. O Princípio de Terzaghi afirma que a resposta de uma massa do solo a uma mudança na tensão se deve exclusivamente à mudança na tensão efetiva. Figura de GeotechniCAL (2025) com sobreposição de etiquetas em português.

O fenômeno da liquefação, no qual um solo perde sua resistência e se comporta como um líquido, pode ser explicado por meio de uma aplicação do Princípio de Terzaghi (ver Fig. 7). No diagrama situado no lado esquerdo de Fig. 7, embora as partículas sólidas estejam fracamente compactadas e os poros estejam saturados, as partículas se tocam. Devido à existência de contato entre as partículas, a carga (o peso das partículas ou de outros materiais situados acima das partículas mostradas no lado esquerdo de Fig. 7) é suportada pelas partículas sólidas. A carga é também parcialmente suportada pela água, em virtude da pressão da água. O termo permeabilidade refere-se à capacidade da água de fluir através dos poros. Uma mistura de partículas grossas e finas apresentará baixa permeabilidade, pois as partículas mais finas preencherão os poros entre as partículas mais grossas e, assim, restringirão o espaço poroso para o fluxo da água.

A fraca compactação significa que o solo está no estado contrátil, de modo que as partículas sólidas tenderão a se compactar para um estado mais densamente compactado após um aumento na carga ou uma perturbação (como, por exemplo, um terremoto). Se a água não puder escapar (devido à baixa permeabilidade ou à rapidez da incidência da perturbação), os sólidos não se podem compactar de forma que a tensão adicional é convertida num aumento da pressão da água dos poros (ver o lado direito de Fig. 7). O aumento da pressão da água pode diminuir a tensão efetiva chegará quase a zero ou ao ponto em que as partículas não mais se “tocam” (ver Fig. 6). Neste ponto, a massa do solo sofreu liquefação na qual a água suporta toda a carga e a massa de partículas e água se comporta como um líquido.

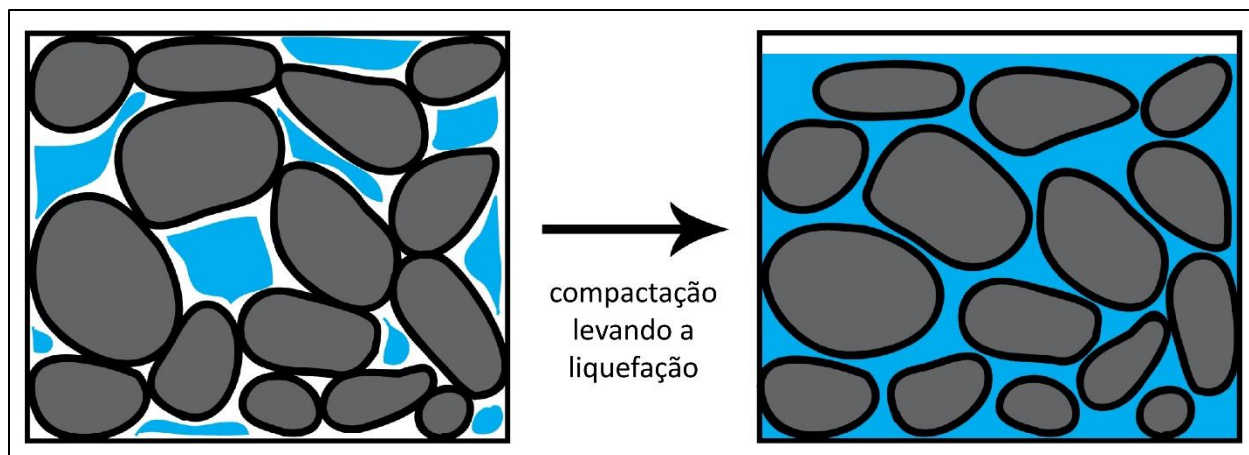


Figura 7. No diagrama à esquerda, embora as partículas sólidas estejam fracamente compactadas e os poros estejam saturados, as partículas se tocam, de modo que a carga é suportada pelas partículas (e parcialmente pela água). A fraca compactação significa que o solo está no estado contrátil, de modo que as partículas sólidas tenderão a se compactar para um estado mais densamente compactado após um aumento na carga ou uma perturbação (como, por exemplo, um terremoto). Se a água não puder escapar (devido à baixa permeabilidade ou à rapidez da incidência da perturbação), os sólidos não se podem compactar de forma que a tensão adicional é convertida num aumento da pressão da água dos poros (ver o diagrama à direita). O aumento da pressão da água pode diminuir a tensão efetiva chegará quase a zero ou ao ponto em que as partículas não mais se “tocam” (ver Fig. 6). Neste ponto, a massa do solo sofreu liquefação na qual a água suporta toda a carga e a massa de partículas e água se comporta como um líquido. Esse fenômeno de liquefação é promovido por poros saturados e partículas fracamente compactadas. Se os poros estiverem insaturados antes da perturbação, pode ocorrer alguma compactação (diminuindo o tamanho dos poros), de forma que os poros se tornem saturados. Qualquer comportamento contrátil adicional irá então converter a tensão adicional em aumento da pressão da água dos poros. Tendo isto em conta, a liquefação é possível mesmo se os poros estiverem apenas 80% saturados. Figura de DoITPoMS (2021) com sobreposição de etiquetas em português.

O fenômeno da liquefação é favorecido por poros saturados e partículas fracamente compactadas. As instalações convencionais de armazenamento de rejeitos são especialmente suscetíveis à liquefação, pois os rejeitos apresentam uma compactação muito fraca, decorrente da descarga hidráulica na instalação de armazenamento sem compactação. Mesmo as instalações de armazenamento de rejeitos espessados e em pasta são suscetíveis à liquefação, pois os rejeitos ainda estão úmidos demais para serem mecanicamente compactados. Se os poros estiverem insaturados antes da perturbação, pode ocorrer alguma compactação (diminuindo o tamanho dos poros), de forma que os poros se tornem saturados. Qualquer comportamento contrátil adicional irá então converter a tensão adicional em aumento da pressão da água dos poros. Tendo isto em conta, a liquefação é possível mesmo se os poros estiverem apenas 80% saturados. Existe uma literatura considerável sobre métodos para avaliar a suscetibilidade de solos ou rejeitos à liquefação (Fell et al., 2015). Por exemplo, uma separação gravimétrica incompleta durante a descarga hidráulica poderia resultar em uma mistura de rejeitos grossos e finos, o que tornaria os rejeitos mais suscetíveis à liquefação ao reduzir sua permeabilidade.

O solo que já se encontra em um estado densamente compactado é considerado em um estado dilatativo (ou dilatante), de modo que as partículas sólidas tenderão a se expandir após uma perturbação. Nesse caso, a perturbação provoca um fortalecimento, em vez de um enfraquecimento do solo, devido à conseqüente redução da pressão da água nos poros. Um solo cujas partículas não se compactam nem se expandem após uma perturbação é considerado em estado crítico. A base da Mecânica dos Solos em Estado Crítico reside no princípio de que, após uma perturbação, todos os solos tendem a se aproximar do estado crítico de empacotamento, no

qual o índice de vazios crítico (relação entre o volume de espaços porosos e o volume de partículas sólidas) depende da tensão vertical efetiva. O papel da liquefação na falha de barragens de rejeitos é desenvolvido com mais detalhes na subseção seguinte.

Mecanismos de Falha de Barragens de Rejeitos

Os principais mecanismos de ruptura de barragens de rejeitos são, sem ordem específica (ICOLD e UNEP, 2001):

- 1) galgamento
- 2) instabilidade de taludes
- 3) liquefação sísmica
- 4) liquefação estática
- 5) falha da fundação
- 6) erosão interna

Os mecanismos supracitados serão revisados nesta subseção.

O galgamento ocorre quando uma lagoa de rejeitos contém uma quantidade excessiva de água, de modo que precipitações adicionais ou o fluxo de águas superficiais para o reservatório fazem com que a água transborde sobre a face do talude externo. Qualquer água que flua sobre um aterro de terra tenderá a erodir a estrutura, e os sulcos resultantes poderão evoluir para o rompimento do aterro ou para o seu desaparecimento completo (ver Fig. 8). Se um evento de galgamento evoluirá para uma falha catastrófica depende da vazão e da duração do fluxo, bem como da existência de alguma camada protetora no aterro, tal como uma camada de enrocamento. O deslizamento ou a ruptura de um talude pode produzir o mesmo efeito e evoluir para o rompimento ou o desaparecimento total de um aterro, uma vez que a água comece a fluir sobre a massa deslizada. A instabilidade do talude pode ser favorecida pelo aumento da pressão da água nos poros no interior da barragem ou pela elevação do nível do lençol freático.



Figura 8. O galgamento de uma barragem de aterro frequentemente resulta na erosão e brecha da barragem. As fotos acima mostram o galgamento e a brecha da barragem de aterro de Glashütte na Alemanha em 23 de agosto de 2002. Fotos da Association of State Dam Safety Officials [Associação de Funcionários Estaduais de Segurança de Barragens] (2025).

A atividade sísmica poderia levar à liquefação, seja dos rejeitos ou do material da barragem. Já foi mencionado que os rejeitos convencionais, espessados e em pasta são todos depositados sem compactação e não podem ser compactados, pois são excessivamente úmidos. Além disso, o material da barragem pode ter sido compactado durante a sua construção, mas a compactação pode ter sido inadequada. De qualquer modo, a atividade sísmica pode promover uma consolidação repentina dos rejeitos ou do material da barragem, o que poderia levar à liquefação caso os rejeitos estejam saturados. Outras perturbações cíclicas, tais como perfurações ou atividades veiculares, também poderiam promover uma consolidação repentina dos rejeitos ou do material da barragem, de modo que o fenômeno é referido como liquefação sísmica ou liquefação cíclica.

Se a liquefação não for iniciada por um movimento cíclico, como em um terremoto, o mecanismo de ruptura é denominado liquefação estática. A liquefação estática pode ser desencadeada por qualquer evento não cíclico capaz de promover uma tentativa súbita de consolidação das partículas sólidas, sem que haja oportunidade para a água escapar. Exemplos de eventos não cíclicos podem incluir quaisquer aumentos repentinos de tensão sobre as partículas sólidas não compactadas, tais como chuvas intensas ou a adição de novos rejeitos em uma taxa tão elevada que estes não conseguem se decantar da água e se consolidar. A falha da fundação sob uma barragem ou lagoa de rejeitos também pode constituir um tipo de liquefação estática. A liquefação, tipicamente, evolui para a ruptura catastrófica da instalação de rejeitos.

A erosão interna é o fenômeno no qual a percolação da água através da barragem ou de sua fundação é suficientemente rápida para arrastar partículas finas, o que pode levar à perda da integridade estrutural, seguida pelo rompimento da barragem (ver Figs. 9-10). A vazão da água é proporcional ao gradiente hidráulico, que corresponde à diferença entre os níveis da água nos lados de montante e de jusante, dividida pelo comprimento do caminho hidráulico. O aparecimento de água turva emergindo de uma barragem de rejeitos ou de terra (ver Fig. 10) constitui um sinal perigoso, pois indica que a erosão interna progrediu a ponto de a percolação estar arrastando pequenas partículas que podem ser rejeitos de granulação fina, o material de construção da barragem ou ambos. A erosão interna não conduz necessariamente a uma falha catastrófica, uma vez que se desenvolve a uma taxa mais lenta do que o galgamento ou a liquefação. Assim, o surgimento de percolação turva poderia indicar uma última oportunidade para a adoção de medidas corretivas, o que poderia significar a redução imediata do nível da água a montante da barragem ou a construção emergencial de um contraforte no pé da barragem para aumentar o comprimento do caminho hidráulico, sendo que ambas as medidas poderiam reduzir a vazão da percolação.

O método mais importante para o projeto de barragens, visando prevenir a erosão interna, consiste em reduzir ao máximo a vazão de água que flui através da barragem. O gradiente hidráulico pode ser reduzido mantendo-se um nível de água baixo no lado de montante da barragem de rejeitos, o que também reduziria a probabilidade de galgamento da barragem. O gradiente hidráulico pode ser reduzido mantendo-se um nível de água baixo no lado de montante da barragem de rejeitos, o que também reduziria a probabilidade de galgamento da barragem. Outra abordagem para reduzir o gradiente hidráulico consiste em alongar o caminho hidráulico, por exemplo, diminuindo a inclinação do talude externo. Do ponto de vista teórico, o ângulo crítico máximo para evitar a erosão interna é de 1V:1H (1 metro na vertical para 1 metro na horizontal) (Holtz et al., 2011). Um talude tão íngreme não deixaria margem para erros e não é recomendado.

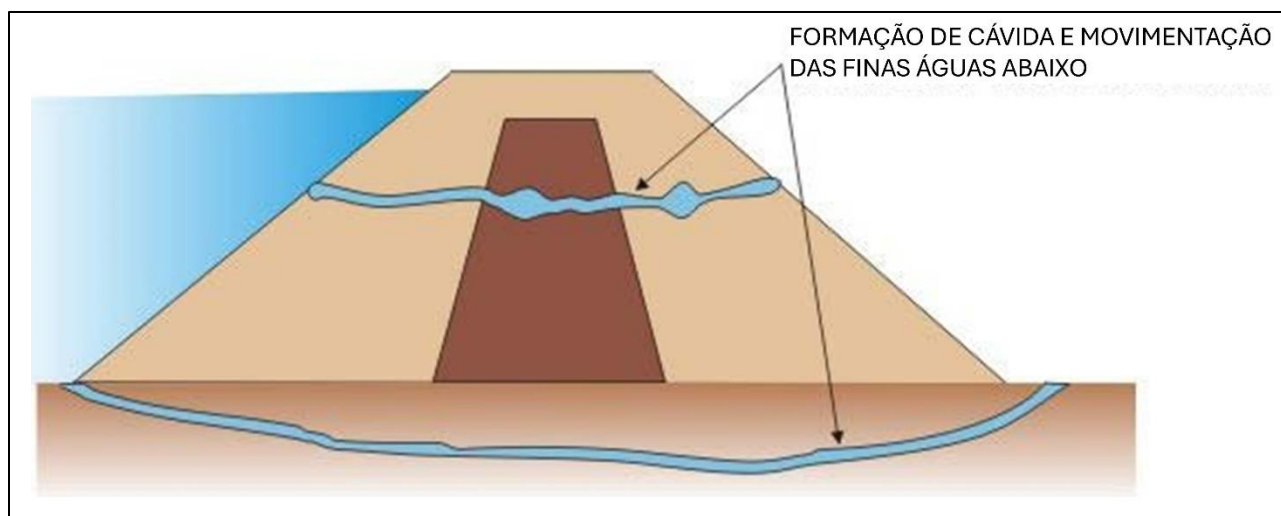


Figura 9. A erosão interna (também chamada de tubificação) é um mecanismo comum de falha de barragens de rejeitos. A erosão interna ocorre quando a percolação de água através da barragem ou de sua fundação é rápida o suficiente para arrastar partículas finas, o que pode levar à perda de integridade estrutural, seguida pela ruptura da barragem. Figura de Bentaher (2012) com sobreposição de etiquetas em português.

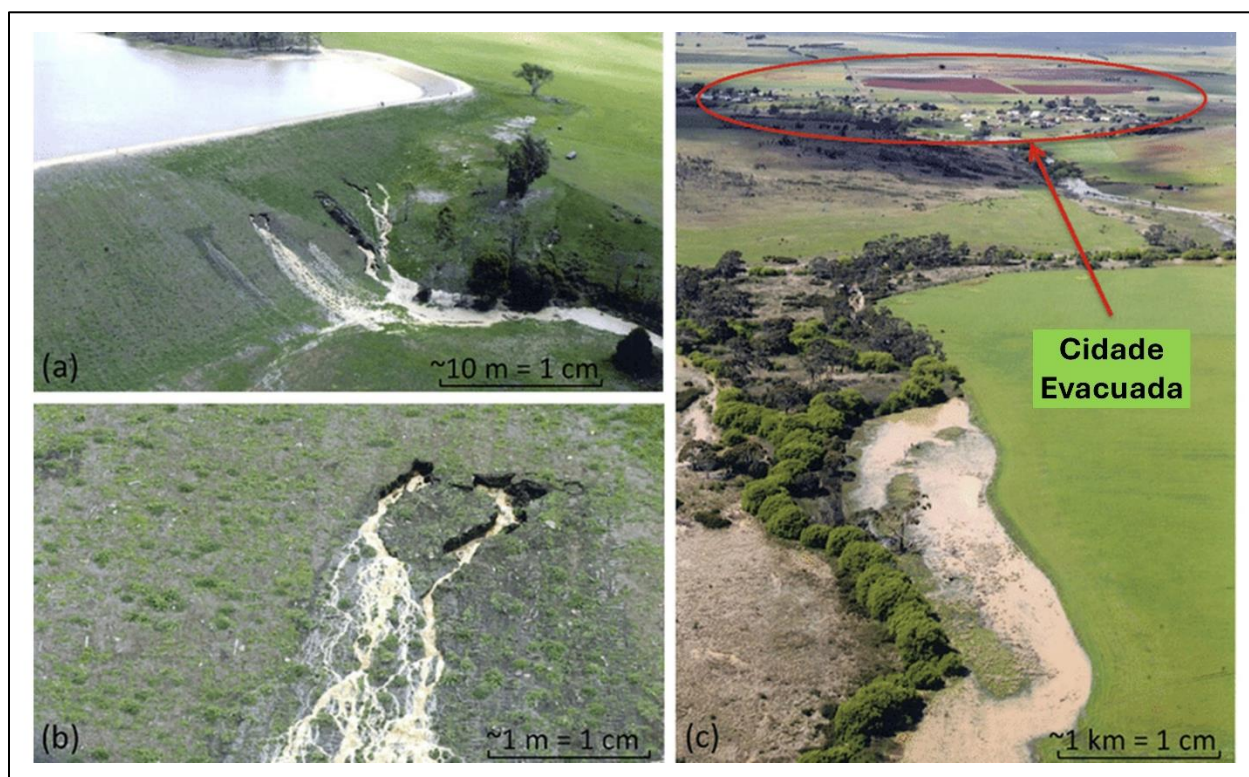


Figura 10. A erosão interna (também chamada de tubificação) é um mecanismo comum de falha de barragens de rejeitos. A erosão interna ocorre quando a percolação de água através da barragem ou de sua fundação é rápida o suficiente para arrastar partículas finas, o que pode levar à perda de integridade estrutural, seguida pela ruptura da barragem. As fotos mostram a ruptura da barragem de Tunbridge, na Tasmânia, Austrália, em 2005, devido à erosão interna. Figura de Fisher et al. (2017) com sobreposição de etiquetas em português.

O Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA recomenda que os taludes não sejam mais íngremes do que 1V:5H (11° em relação à horizontal) para evitar a erosão interna em barragens de terra ou diques. De acordo com o USACE (2000), “For sand levees, a 1V on 5H landside slope is considered flat enough to prevent damage from seepage exiting on the landside slope” [Para diques de areia, um talude do lado de terra de 1V:5H é considerado suficientemente plano para prevenir danos decorrentes da percolação que emerge no talude do lado de terra]. A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração concorda por escrito: “O talude do aterro externo da barragem de rejeitos deve ser suficientemente baixo para manter a probabilidade anual de falha causada por piping (também chamado de erosão interna) dentro do nível aceitável. Novos aterros externos devem ser construídos com talude de 1V:5H ou menos, sendo que um aterro adicional deve ser construído se os aterros externos apresentarem uma inclinação mais íngreme do que 1V:5H para reduzi-la até 1V:5H, de acordo com a orientação do USACE. Propostas de construir ou manter um aterro externo com talude maior do que 1V:5H devem ser justificadas por escrito junto às autoridades reguladoras e ao público. A justificativa não pode ser baseada apenas em considerações econômicas, mas deve demonstrar que, neste caso específico, a falha devida à erosão interna continua sendo suficientemente improvável, mesmo com o talude mais íngreme” (Morrill et al., 2022).

Taludes suaves também podem prevenir falhas decorrentes de atividade sísmica ou instabilidade do talude. Além disso, um talude de aterro suave poderia reduzir a probabilidade de falha da fundação, ao distribuir o peso da barragem por uma área maior. De acordo com o livro-texto Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities [Engenharia Geotécnica de Instalações de Armazenamento de Resíduos de Mineração], “*Considering the requirement that the storage capacity for tailings solids of a given site must be maximized, together with the requirements for overall shear stability and the requirement to limit rates of surface erosion, as well as the practical advantage of a slope that can be worked mechanically, an acceptable slope angle for tailings slopes appears to lie in the range of 15-20°. A round figure of 1 vertical on 3 horizontal or 18° appears to be a good compromise*” [Considerando a exigência de que a capacidade de armazenamento de sólidos de rejeitos em um determinado local deva ser maximizada, aliada aos requisitos de estabilidade global ao cisalhamento e à necessidade de limitar as taxas de erosão superficial, bem como à vantagem prática de uma inclinação que permita a execução de trabalhos mecânicos, uma inclinação de talude aceitável para rejeitos parece situar-se na faixa de 15° a 20°. Um valor arredondado de 1 vertical para 3 horizontal, ou 18°, afigura-se como um bom compromisso] (Blight, 2010). O Ministry of Energy, Mines and Low Carbon Innovation (British Columbia) [Ministério de Energia, Minas e Inovação de Baixo Carbono (Colúmbia Britânica) (2024) especifica uma inclinação de jusante não mais íngreme do que 1V:2H (26,5° em relação à horizontal) para barragens de rejeitos. Em conformidade com os regulamentos da Colúmbia Britânica, a citação acima, extraída do A Segurança em Primeiro Lugar, prossegue: “Em todos os casos, o talude da barragem não pode exceder 1V:2H” (Morrill et al., 2022).

No que diz respeito à citação anterior de Blight (2010), deve-se enfatizar que a inclinação máxima de 1V:3H não tinha como objetivo maximizar a proteção do meio ambiente, mas sim estabelecer um equilíbrio entre a necessidade de proteger o meio ambiente e a necessidade de armazenar o volume máximo de rejeitos (o que poderia implicar a redução do espaço ocupado pela barragem, a fim de criar mais espaço para armazenamento detrás da barragem). Em contrapartida, as recomendações do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA ou de A

Segurança em Primeiro Lugar visam maximizar a segurança pública e a segurança do meio ambiente. De acordo com o Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, “*Since ‘Life Safety is Paramount,’ it is not appropriate to refer to balancing or trading off public safety with other project benefits. Instead, it is after tolerable risk guidelines are met that other purposes and objectives will be considered*” [Visto que a “Segurança da Vida é Primordial”, não é apropriado referir-se a um equilíbrio ou a uma compensação entre a segurança pública e outros benefícios do projeto. Em vez disso, é somente após o atendimento às diretrizes de risco tolerável que outros propósitos e objetivos serão considerados] (USACE, 2014). Da mesma forma, Diretriz 1 de A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração é “Fazer com que a segurança seja o princípio orientador do projeto, construção, operação e encerramento” (Morrill et al., 2022).

Os padrões de Blight (2010) e Morrill et al. (2022) referem-se a barragens de rejeitos em geral, ao passo que o padrão do USACE (2000) refere-se a barragens de terra em geral. Existem também padrões internacionais relacionados, especificamente, às inclinações de barragens de rejeitos a montante. De acordo com a Comissão Europeia, “*Key design features to help ensure upstream dam stability include: ... • a slope angle of 3:1 (H:V) or flatter, depending on the other measures incorporated into the long-term design; steeper slopes, without an appropriately drained and/or compacted beach, create the potential for spontaneous static liquefaction* (Davies et al. 2002)” [As principais características de projeto destinadas a auxiliar na garantia da estabilidade da barragem a montante incluem: ... • um ângulo de talude de 3:1 (H:V) ou mais suave, dependendo das demais medidas incorporadas ao projeto de longo prazo; taludes mais inclinados, desprovidos de uma praia adequadamente drenada e/ou compactada, criam o potencial para a liquefação estática espontânea (Davies et al. 2002)] (Garbarino et al., 2018). Um padrão da indústria mais antigo (Martin et al., 2002), segundo o qual a inclinação máxima para barragens a montante deve ser de 1V:4H (14° em relação à horizontal), será analisado mais detalhadamente, juntamente com o atual padrão da indústria (que preconiza que as barragens a montante devem ser totalmente evitadas), na subseção “Perigos do Método de Construção a Montante”.

A Comissão Europeia solicitou, ainda, inclinações máximas de 1V:3H não apenas para barragens a montante, mas para todas as barragens de rejeitos. De acordo com a Comissão Europeia, “*In the long term, damage by erosion, temperature and vegetation can be avoided by using stable materials in the construction of the dam and by constructing slopes of a sufficiently low angle. A repose angle of 3:1 (H:V) for the outer surface of the dam is for example considered stable in the long term as such slopes naturally occur in the landscape, according to the MTWR BREF [Management of Tailings and Waste Rock - Best Available Techniques Reference Document]*” [A longo prazo, os danos causados pela erosão, pela temperatura e pela vegetação podem ser evitados por meio do uso de materiais estáveis na construção da barragem e da execução de taludes com inclinação suficientemente suave. Um ângulo de repouso de 3:1 (H:V) para a superfície externa da barragem é, por exemplo, considerado estável a longo prazo, uma vez que taludes com essa característica ocorrem naturalmente na paisagem, de acordo com o MTWR BREF [Documento de Referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis para a Gestão de Rejeitos e Rocha Estéril] (Garbarino et al., 2018). Um exemplo apresentado no documento de orientação da Comissão Europeia é que, após a falha da barragem de rejeitos da mina Los Frailes, em Aznalcóllar, Espanha, em 1998, a porção remanescente da barragem foi reconstruída para atingir um ângulo de talude de 1V:3H, a fim de prevenir novos rompimentos (Garbarino et al., 2018). As regulamentações brasileiras não especificam uma inclinação máxima; no entanto, a

inclinação é levada em consideração como uma das Características Técnicas que determinam a Categoria de Risco. Este assunto é discutido com mais detalhes na subseção “Regulamentações Brasileiras sobre Barragens de Rejeitos”.

Como nota adicional, a MRN afirma que suas barragens de rejeitos são excepcionalmente seguras, pois os depósitos de rejeitos são completamente circundados por aterros construídos artificialmente, sem depender do confinamento proporcionado pela topografia natural. De acordo com a MRN (2025b), “Além disso, as estruturas não utilizam a topografia natural (como vales) para conter rejeitos. Em vez disso, são construídas artificialmente sobre o terreno plano, o que oferece maior estabilidade, controle e segurança”. Pode haver algumas circunstâncias nas quais a topografia natural se mostre instável; no entanto, a prática da indústria consiste em confiar no confinamento proporcionado pela topografia natural tanto quanto possível, uma vez que perímetros de barragens extensos resultam, simplesmente, em mais oportunidades de falha. De acordo com o livro-texto Planejamento, Projeto e Análise de Barragens de Rejeitos, “*The general aim is to identify sites where the maximum storage capacity can be achieved with the least amount of embankment fill material, within the limits of the storage volume required. This usually involves identifying natural valleys, basins, or other topographic depressions on suitably scaled maps, and sketching preliminary trial embankment-impoundment configurations for each potential site*” [O objetivo geral é identificar locais onde a capacidade máxima de armazenamento possa ser alcançada com a menor quantidade de material de aterro, dentro dos limites do volume de armazenamento requerido. Isso geralmente envolve a identificação de vales naturais, bacias ou outras depressões topográficas em mapas de escala adequada, bem como o esboço de configurações preliminares de aterro e represamento para cada local potencial] (Vick, 1990).

Nessa mesma linha, já foi mencionado que, com 30 barragens de rejeitos, a mina MRN possui um número incomumente elevado de barragens em comparação a qualquer outra grande mina de bauxita (ver Tabela 1). Um número tão grande de barragens maximiza o comprimento total do perímetro das barragens para um determinado volume total de rejeitos, especialmente quando as barragens circundam completamente os rejeitos, sem qualquer confinamento pela topografia natural. Conforme declarado acima, a maximização do perímetro da barragem maximiza as oportunidades de falha. Não há documento disponível ao autor que explique por que a MRN adotou essa estratégia incomum. Uma possibilidade é que o material de construção disponível no local da mina seja frágil demais para suportar um aterro alto; assim, a alternativa consiste em construir um longo perímetro de aterros de baixa altura. A barragem de rejeitos mais alta no local da MRN possui 31,7 metros (SP7C), enquanto seis barragens de rejeitos (SP-24A, SP-24B, SP-24C, SP-25A, SP-25B, SP-25C) têm apenas 7 metros de altura (ver Tabela 2a).

Perigos do Método de Construção a Montante

A falha da barragem de rejeitos a montante na mina Córrego do Feijão, próximo a Brumadinho, Brasil, em 25 de janeiro de 2019, que resultou em 272 mortes, incluindo a de 258 trabalhadores mineiros (ver Fig. 11; Robertson et al., 2019), constituiu um divisor de águas na conscientização global sobre o perigo do método construtivo a montante. No entanto, nas cinco décadas que antecederam o desastre de Brumadinho, já existiam inúmeras advertências e proibições referentes ao uso do método a montante em documentos de orientação e regulamentos. O tema é discutido com certo detalhe, uma vez que esse material não costuma estar disponível em um único local.



Figura 11. A falha da barragem de rejeitos a montante na mina de Córrego do Feijão, perto de Brumadinho, Brasil, em 25 de janeiro de 2019, que resultou em 272 mortes, incluindo a morte de 258 trabalhadores da mina, foi um momento decisivo na conscientização global sobre o perigo do método de construção a montante. No entanto, nas cinco décadas que antecederam o desastre de Brumadinho, já existiam inúmeros alertas e proibições sobre o uso do método de construção a montante em documentos de orientação e regulamentações. Foto de Robertson et al. (2019).

Com base nos princípios de engenharia discutidos na subseção “Métodos de Construção de Barragens de Rejeitos” e no registro histórico da época, a U.S. Environmental Protection Agency [Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos] (USEPA, 1994) concluiu que “*A tailings pond that is expected to receive high rates of water accumulation (due to climatic and topographic conditions) should be constructed using a method other than upstream construction ... upstream construction is not appropriate in areas with a potential for high seismic activity*” [Uma barragem de rejeitos que se espera venha a receber altas taxas de acumulação de água (devido a condições climáticas e topográficas) deve ser construída utilizando um método distinto da construção a montante ... a construção a montante não é apropriada em áreas com potencial de alta atividade sísmica]. A International Commission on Large Dams [Comissão Internacional de Grandes Barragens] (ICOLD) e o United Nations Environment Programme [Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente] (UNEP ou PNUMA em português) chegaram à mesma conclusão por escrito: “*In general, dams built by the downstream or centreline method are much safer than those built by the upstream method, particularly when subject to earthquake shaking ... Dams built by the upstream method are particularly susceptible to damage by earthquake shaking. There is a general suggestion that this method of construction should not be used in areas where there is risk of earthquake*” [Em geral, as barragens construídas pelo método a jusante ou pelo método de linha de centro são muito mais seguras do que aquelas construídas pelo método a montante, particularmente quando sujeitas a tremores sísmicos ... As barragens construídas pelo método a montante são particularmente suscetíveis a danos causados por

tremores sísmicos. Existe uma recomendação geral de que esse método de construção não seja utilizado em áreas onde haja risco de terremotos] (ICOLD e UNEP, 2001). A recomendação ao PNUMA em 2017 foi “*adopt a presumption against the use of ... upstream and cascading tailings dams unless justified by independent review*” [adotar uma presunção contra o uso de barragens de rejeitos a montante e em cascata, a menos que justificado por uma revisão independente] (Roche et al., 2017). Finalmente, a Comissão Europeia concordou por escrito: “*The main disadvantage of the upstream method is the risk of physical instability of the dam and its susceptibility to liquefaction ... In general, downstream dams are much safer than those built using the upstream method, particularly when subject to seismic loads ... [Upstream dams are] not applicable when the slightest risk of liquefaction has been identified after seismic evaluation ... Upstream: this option has the highest risk associated to dam wall breaking*” [A principal desvantagem do método a montante é o risco de instabilidade física da barragem e sua suscetibilidade à liquefação ... Em geral, as barragens a jusante são muito mais seguras do que aquelas construídas utilizando o método a montante, particularmente quando sujeitas a cargas sísmicas ... [Barragens a montante] não são aplicáveis quando o menor risco de liquefação tiver sido identificado após avaliação sísmica ... A montante: esta opção apresenta o maior risco associado ao rompimento do maciço da barragem] (Garbarino et al., 2018).

Mesmo antes do desastre de Brumadinho, o método de construção a montante para barragens de rejeitos já era proibido em todas as circunstâncias no Chile e no Peru (Ministerio de Minería (Chile) [Ministério da Mineração (Chile)], 2007; Sistema Nacional de Información Ambiental (Perú) [Sistema Nacional de Informação Ambiental (Peru)], 2014). A proibição de barragens a montante no Chile vigora há mais de 55 anos (desde 1970) e foi motivada pelo grande terremoto de 1965, que causou a falha de 17 barragens de rejeitos, 16 das quais haviam sido construídas utilizando o método a montante (Villavicencio et al., 2013; Valenzuela, 2016). O mesmo padrão se repetiu no grande terremoto de 1997, no qual quatro barragens de rejeitos falharam, três das quais haviam sido construídas utilizando o método a montante e uma que combinava alteamentos a montante e de linha de centro. Em contrapartida, o Chile possui 757 barragens de rejeitos, incluindo 465 barragens cujo método de construção é conhecido. Dentre as barragens com método de construção conhecido, 213 (46%) foram construídas utilizando o método a montante, sendo que todas elas se encontram atualmente fechadas (SNGM, 2020).

Mais uma vez, muito antes do desastre de Brumadinho, o método construtivo a montante foi minuciosamente criticado nos dois livros-texto disponíveis sobre barragens de rejeitos. O primeiro livro-texto foi Planejamento, Projeto e Análise de Barragens de Rejeitos (Vick, 1990), que foi publicado pela primeira vez em 1983 e reimpresso sem revisão em 1990. De acordo com Vick (1990), “*Use of the upstream raising method, however, is limited to very specific conditions and incorporates a number of inherent disadvantages. Factors that constrain the application of the upstream method include phreatic surface [water table] control, water storage capacity, and seismic liquefaction susceptibility. The location of the phreatic surface is a critical element in determining embankment stability. For upstream embankments constructed by tailings spigotting, there are few structural measures for control of the phreatic surface within the embankment ... Many if not most failures of upstream embankments can be attributed to inadequate separation distance between the decant pond and the embankment crest ... For this reason, upstream embankments are poorly suited to conditions where water accumulation is anticipated due to flooding, long-term accumulation of seasonal runoff, or high rates of mill water accumulation. In general, upstream embankments cannot be used for water retention ... The susceptibility of upstream embankments to liquefaction under severe seismic ground motion*

is well documented (Dobry and Alvarez, 1967). The low relative density and generally high saturation within the tailings deposit can result in liquefaction-induced flow of the tailings, with disastrous consequences. Upstream raising methods are clearly inappropriate in areas of high seismic potential ... Upstream embankments, while providing the simplest and least costly raising method, are subject to a number of very critical constraints. Proper use of the method can be justified only when these constraints are thoroughly investigated and satisfied ... The fact that so many variables cannot be controlled or easily predicted in advance of operation cannot help but inspire a certain feeling of helplessness among those who would attempt to predict the phreatic surface location within upstream embankments. This uneasiness is often manifested by a preference for other embankment types whose seepage and stability characteristics are more easily predicted and controlled" [O uso do método de alteamento a montante, no entanto, limita-se a condições muito específicas e apresenta diversas desvantagens inerentes. Os fatores que restringem a aplicação do método a montante incluem o controle da superfície freática [lençol freático], a capacidade de armazenamento de água e a suscetibilidade à liquefação sísmica. A localização da superfície freática constitui um elemento crítico na determinação da estabilidade de aterros. Para aterros construídos a montante por meio de lançamento de rejeitos por torneiras, existem poucas medidas estruturais para o controle da superfície freática no interior do aterro ... Muitas, se não a maioria, das falhas em barragens a montante podem ser atribuídas a uma distância de separação inadequada entre a lagoa de decantação e a crista da barragem ... Por essa razão, as barragens a montante são pouco adequadas para condições em que se prevê o acúmulo de água devido a inundações, ao acúmulo de longo prazo de escoamento sazonal ou a altas taxas de acúmulo de água de processo. Em geral, aterros a montante não podem ser utilizados para a retenção de água ... A suscetibilidade de aterros a montante à liquefação sob movimentos sísmicos severos do solo é bem documentada [Dobry e Alvarez, 1967)]. A baixa densidade relativa e a saturação geralmente elevada no depósito de rejeitos podem resultar em um fluxo de rejeitos induzido por liquefação, com consequências desastrosas. Os métodos de alteamento a montante são claramente inadequados em áreas de alto potencial sísmico ... Os aterros a montante, embora ofereçam o método de elevação mais simples e menos oneroso, estão sujeitos a uma série de restrições extremamente críticas. O emprego adequado desse método somente se justifica quando tais restrições são minuciosamente investigadas e atendidas ... O fato de que tantas variáveis não podem ser controladas ou facilmente previstas antes da operação não pode deixar de inspirar uma certa sensação de impotência entre aqueles que tentam prever a localização da superfície freática em aterros a montante. Esse desconforto manifesta-se frequentemente por uma preferência por outros tipos de aterros, cujas características de percolação e estabilidade são mais facilmente previsíveis e controláveis].

Vale ressaltar que a suscetibilidade de barragens a montante a falhas decorrentes de liquefação sísmica já havia sido estabelecida em meados da década de 1960 (Dobry e Alvarez, 1967) e serviu de base para a proibição de barragens a montante no Chile em 1970. O segundo livro-texto foi Engenharia Geotécnica de Instalações de Armazenamento de Resíduos de Mineração (Blight, 2010), que foi publicado 20 anos depois de Vick (1990). Blight (2010) acreditava que as barragens a montante já estavam desaparecendo e escreveu: "*This particular method of construction is no longer used in many parts of the world, although it is still used in areas having an arid climate and no seismicity*" [Este método de construção específico não é mais utilizado em muitas partes do mundo, embora ainda seja empregado em áreas de clima árido e sem sismicidade].

Após o desastre de Brumadinho, dois países adicionais proibiram o uso do método de construção a montante (ANM, 2019a; Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables [Ministério de Energia e Recursos Naturais Não Renováveis] (Equador), 2020a), de modo que as barragens a montante estão agora proibidas nos quatro países latino-americanos: Brasil, Chile, Equador e Peru. O Equador foi além dos demais países ao priorizar o método a jusante e permitir o método de linha de centro apenas sob circunstâncias especiais. De acordo com o Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2020a), “*Se prohíbe la utilización del método hacia aguas arriba. De manera estandarizada el método de construcción será hacia aguas abajo, incluyendo la presa de arranque. El método de construcción de eje central se aprobará en los casos en que la morfología o espacio del terreno no permitan el crecimiento hacia aguas abajo, siempre y cuando se cumpla con condiciones favorables para la estabilidad física del depósito de relaves*” [O método de construção a montante é proibido. O método de construção padrão será a jusante, incluindo a barragem inicial. O método de construção de linha de centro será aprovado nos casos em que a morfologia do terreno ou o espaço não permitirem a expansão a jusante, desde que sejam atendidas as condições favoráveis à estabilidade física da barragem de rejeitos]. O Brasil também exigiu o fechamento seguro das barragens de rejeitos existentes construídas pelo método a montante até agosto de 2020 (ANM, 2019a), mas prorrogou o prazo para as barragens que armazenam menos de 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos, entre 12 e 30 milhões de metros cúbicos de rejeitos, e mais de 30 milhões de metros cúbicos de rejeitos, para setembro de 2022, setembro de 2025 e setembro de 2027, respectivamente (ANM, 2019b). O significado de “fechamento seguro” é explicado detalhadamente na subseção “Regulamentações Brasileiras sobre Barragens de Rejeitos”.

Alguns documentos de orientação pós-Brumadinho reforçaram advertências anteriores relativas às barragens de rejeitos a montante, mas não exigiram explicitamente a proibição do método construtivo a montante. De acordo com a Canadian Dam Association [Associação Canadense de Barragens] (2019), “*It is recommended that upstream constructed tailings dams not be built in high seismic areas*” [Recomenda-se que barragens de rejeitos construídas pelo método a montante não sejam construídas em áreas de alta sismicidade]. De acordo com a ICOLD (2021), “*ICOLD Bulletin B 121 [ICOLD and UNEP, 2001] discusses a key risk inherent in upstream construction being the potential for tailings in the structural zone to remain saturated at low density, resulting in tailings being in a contractive state, susceptible to static or dynamic liquefaction ... The stability of the upstream slope is dependent upon the strength of the impounded tailings [as opposed to dependence only upon the strength of the dikes], which form part of the upstream section ... The extent of saturation is sometimes difficult to determine with perched water tables being common due to segregation and layering. Piezometers cannot be relied on to give an accurate picture of the phreatic surface, particularly if vertical drainage is occurring and/or perched water tables are present. Caution should be applied when considering upstream construction, particularly when using fine tailings that have poor drainage characteristics and in climates where drying effects might be limited and/or in areas of moderate seismicity*” [O Boletim B 121 da ICOLD [ICOLD e UNEP, 2001] discute um risco fundamental inerente à construção pelo método a montante, sendo o potencial de que os rejeitos na zona estrutural permaneçam saturados e com baixa densidade, resultando em um estado contrativo dos rejeitos, suscetível à liquefação estática ou dinâmica ... A estabilidade do talude a montante depende da resistência dos rejeitos represados [ao contrário de depender apenas da resistência dos diques], os quais constituem parte da seção a montante ... A extensão da saturação é, por vezes, difícil de determinar, sendo comuns os lençóis freáticos suspensos devido à segregação e à

estratificação. Não se pode confiar nos piezômetros para fornecer um retrato preciso da superfície freática, particularmente se estiver ocorrendo drenagem vertical e/ou se houver lençóis freáticos suspensos presentes. Deve-se ter cautela ao considerar a construção a montante, particularmente ao utilizar rejeitos finos com características de drenagem deficientes, em climas onde os efeitos de secagem possam ser limitados e/ou em áreas de sismicidade moderada].

Finalmente, o Manual de Gestão de Rejeitos de Mineração: Uma Abordagem de Ciclo de Vida da SME (Sociedade para Mineração, Metalurgia e Exploração) reforçou críticas anteriores ao método a montante e até mesmo ao método de linha de centro por escrito: *“Upstream construction, and to a lesser degree centerline construction, with the placement of the embankment crest raising on tailings, introduces stability concerns because of the potentially low strength of the saturated tailings during initial covering and the potential for seismically induced strength degradation ... Instability and earthquake-related incidents have generally been predominant at upstream and centerline facilities ... [The upstream method is] typically more susceptible to instability particularly under earthquake loading”* [A construção a montante e, em menor grau, a construção de linha de centro, que envolve a elevação da crista do aterro sobre os rejeitos, suscita preocupações quanto à estabilidade, devido à resistência potencialmente baixa dos rejeitos saturados durante a cobertura inicial e ao potencial de degradação da resistência induzida por sismicidade ... A instabilidade e os incidentes relacionados a terremotos têm sido, de modo geral, predominantes nas instalações a montante e na linha de centro... [O método a montante] é tipicamente mais suscetível à instabilidade, particularmente sob carregamento sísmico] (Snow, 2022). O SME Surface Mining Handbook [Manual de Mineração de Superfície da SME] também concordou por escrito: *“Upstream dams have a high probability (58%) for damage (Lyu et al., 2019). Historically, downstream and centerline dams are typically more stable and are associated with fewer dam failure events. Downstream or centerline construction is the preferred and recommended method of dam construction”* [Barragens a montante apresentam uma alta probabilidade (58%) de sofrer danos (Lyu et al., 2019). Historicamente, as barragens a jusante e de linha de centro são, tipicamente, mais estáveis e associadas a um menor número de eventos de falha. A construção a jusante ou de linha de centro constitui o método preferencial e recomendado para a construção de barragens] (Mohanty et al. 2023).

Por outro lado, A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração (Morrill et al., 2022) seguiu as regulamentações dos quatro países latino-americanos e preconizou a proibição de novas barragens de rejeitos a montante, bem como o fechamento seguro das barragens a montante existentes. De acordo com Morrill et al. (2022), Devido aos riscos demonstrados com barragens de alteamento a montante, esse tipo de barragem não deve ser construído em instalações novas. O alteamento a montante é especialmente problemático em áreas onde há risco sísmico moderado ou elevado, ou em áreas de clima úmido onde há mais precipitação que evaporação, especialmente à medida que eventos meteorológicos se tornam cada vez mais severos com a mudança climática ... A expansão de estruturas de alteamento a montante deve cessar e essas instalações devem ser desativadas de maneira segura, o quanto antes. Isso inclui as barragens para as quais as empresas obtiveram outorgas, mas cuja construção ainda não foi iniciada, ou em que as obras começaram recentemente. O prazo de desativação deve depender de condições de engenharia e da segurança das comunidades afetadas e não de considerações financeiras”.

Um dos desenvolvimentos mais significativos no período pós-Brumadinho tem sido a criação do Global Tailings Portal [Portal Global de Rejeitos] (UNEP et al., 2025) e a sua análise

por Franks et al. (2021). Pela primeira vez, essa análise quantificou o risco mais elevado representado pelas barragens a montante e o desaparecimento gradual do método de construção a montante para novas instalações de armazenamento de rejeitos. De acordo com Franks et al. (2021), “*Controversy has surrounded the safety of tailings facilities, most notably upstream facilities, for many years but in the absence of definitive empirical data differentiating the risks of different facility types, upstream facilities have continued to be used widely by the industry and a consensus has emerged that upstream facilities can theoretically be built safely under the right circumstances*” [A segurança das instalações de rejeitos, notadamente as do tipo a montante, tem sido objeto de controvérsia há muitos anos; contudo, na ausência de dados empíricos definitivos que diferenciem os riscos dos diversos tipos de instalações, as estruturas a montante continuaram a ser amplamente utilizadas pela indústria, e emergiu um consenso de que, teoricamente, tais instalações podem ser construídas com segurança sob as circunstâncias adequadas]. Franks et al. (2021) demonstraram que o abandono do método de construção a montante já estava em pleno andamento, ainda na década de 1970 (ver Fig. 12). De acordo com Franks et al. (2021), “*While upstream facilities make up 37 per cent of the total, they have declined from a peak of 85 per cent of new facilities in 1920–1929 to 19 per cent of new facilities in 2010–2019*” [embora as instalações a montante representem 37% do total, sua participação diminuiu de um pico de 85% das novas instalações no período de 1920 a 1929 para 19% das novas instalações no período de 2010 a 2019] (ver Fig. 12). Além disso, as instalações a montante representaram 45%, 41% e 32% do total de novas instalações nas décadas de 1960-1969, 1970-1979 e 1980-1989, respectivamente, indicando que, já na década de 1970, era geralmente sabido que os benefícios da construção a montante não superavam os riscos. De acordo com Franks et al. (2021), “*Owing to their historical popularity, upstream facilities make up 43 per cent of facilities that are inactive, closed or reclaimed. However, in the past twenty years, the number of new downstream and in-pit/natural landform facilities have risen sharply ... At present, the number of active downstream facilities (230) marginally exceeds the number of active upstream facilities (224)*” [Devido à sua popularidade histórica, as instalações a montante representam 43% das instalações inativas, fechadas ou recuperadas. No entanto, nos últimos vinte anos, o número de novas instalações a jusante e em cavas/formações naturais aumentou acentuadamente ... Atualmente, o número de instalações ativas a jusante (230) excede ligeiramente o número de instalações ativas a montante (224)] (ver Fig. 12). No momento atual, “*Upstream facilities represent a relatively low number of active facilities in North and South America when compared to Africa and Oceania*” [As instalações a montante representam um número relativamente baixo de instalações ativas nas Américas do Norte e do Sul, quando comparadas à África e à Oceania] (Franks et al., 2021). As conclusões de Franks et al. (2021) reforçaram a impressão geral de Blight (2010) e a declaração anterior da USEPA (1994) de que “*most recent dike dams have been built using downstream or centerline methods rather than the upstream method*” [as barragens de dique mais recentes têm sido construídas utilizando os métodos a jusante ou de linha de centro, em vez do método a montante] (USEPA, 1994).

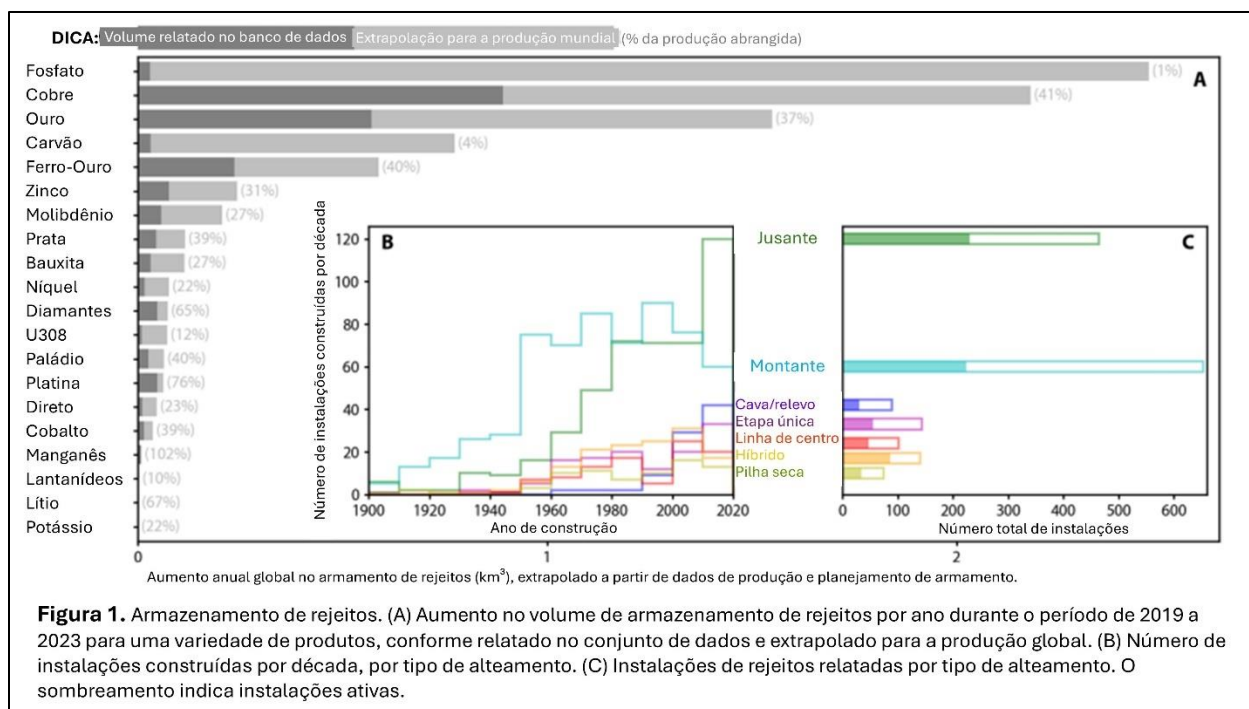


Figura 12. De acordo com Franks et al. (2021), “while upstream facilities make up 37 per cent of the total, they have declined from a peak of 85 per cent of new facilities in 1920–1929 to 19 per cent of new facilities in 2010–2019 (Fig. 1B)” [embora as instalações a montante representem 37% do total, sua participação diminuiu de um pico de 85% das novas instalações no período de 1920 a 1929 para 19% das novas instalações no período de 2010 a 2019 (Fig. 1B)]. Além disso, as instalações a montante representaram 45%, 41% e 32% do total de novas instalações nas décadas de 1960-1969, 1970-1979 e 1980-1989, respectivamente, indicando que, já na década de 1970, era geralmente sabido que os benefícios da construção a montante não superavam os riscos. Figura de Franks et al. (2021) com sobreposição de etiquetas em português.

Entre outras informações, o Portal Global de Rejeitos inclui o histórico de preocupações com a estabilidade. O histórico de questões de estabilidade é uma resposta de “sim” ou “não” à pergunta “Has this facility, at any point in its history, failed to be confirmed or certified as stable, or experienced notable stability concerns, as identified by an independent engineer (even if later certified as stable by the same or a different firm)?” [Em algum momento de sua história, esta instalação deixou de ser confirmada ou certificada como estável, ou apresentou problemas de estabilidade significativos, conforme identificado por um engenheiro independente (mesmo que posteriormente tenha sido certificada como estável pela mesma empresa ou por outra)?] com o esclarecimento “We note that this will depend on factors including local legislation that are not necessarily tied to best practice. As such, and because remedial action may have been taken, a ‘Yes’ answer may not indicate heightened risk. Stability concerns might include toe seepage, dam movement, overtopping, spillway failure, piping etc. If yes, have appropriately designed and reviewed mitigation actions been implemented? We also note that this question does not bear upon the appropriateness of the criteria, but rather the stewardship levels of the facility or the dam” [Observamos que isso dependerá de fatores, incluindo a legislação local, que não estão necessariamente ligados às melhores práticas. Sendo assim, e considerando que medidas corretivas podem ter sido tomadas, uma resposta “Sim” pode não indicar um risco elevado. As preocupações com a estabilidade podem incluir infiltração na base da barragem, movimentação da estrutura, galgamento, falha do vertedouro, erosão interna, etc. Em caso afirmativo, as ações

de mitigação foram devidamente projetadas e implementadas após a devida revisão? Observamos também que esta pergunta não se refere à adequação dos critérios, mas sim aos níveis de gestão da instalação ou da barragem]. Franks et al. (2021) utilizaram essas respostas para estabelecer que as barragens a montante apresentam problemas de estabilidade aumentados, mesmo nos casos em que tais problemas não evoluíram para a falha da barragem (ver Fig. 13). De acordo com Franks et al. (2021), *“Our findings reveal that in practice active upstream facilities report a higher incidence of stability issues (18.3%) than other facility types, and that this elevated risk persists even when these facilities are built in high governance settings ... The likelihood of a stability issue in active upstream facilities is twice that of active downstream facilities ... The control tests [age, height, volume, seismic hazard, wind speed, and rainfall] showed that the properties of the upstream samples (notably their distribution of age), have a small effect on the incidence of stability, however the estimated effect is only about one standard error, and is not sufficient to account for their higher than average incidence”* [Nossas descobertas revelam que, na prática, as instalações ativas a montante apresentam uma incidência maior de problemas de estabilidade (18,3%) do que outros tipos de instalações, e que esse risco elevado persiste mesmo quando essas instalações são construídas em ambientes com boa governança ... A probabilidade de um problema de estabilidade em instalações ativas a montante é o dobro da probabilidade em instalações ativas a jusante... Os testes de controle [idade, altura, volume, risco sísmico, velocidade do vento e precipitação] mostraram que as propriedades das amostras a montante (notadamente sua distribuição de idade) têm um pequeno efeito na incidência de problemas de estabilidade; no entanto, o efeito estimado é de apenas cerca de um erro padrão e não é suficiente para explicar sua incidência acima da média].

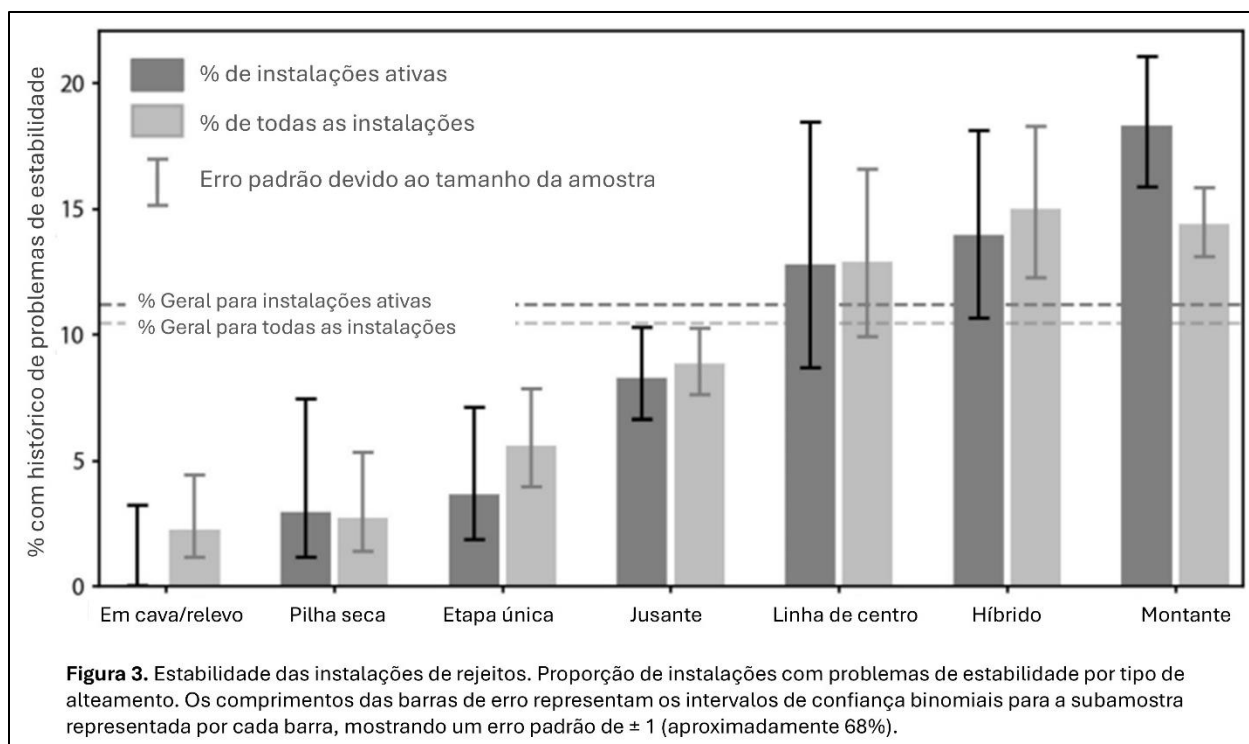


Figura 13. De acordo com Franks et al. (2021), “*Our findings reveal that in practice active upstream facilities report a higher incidence of stability issues (18.3%) than other facility types, and that this elevated risk persists even when these facilities are built in high governance settings ... The likelihood of a stability issue in active upstream facilities is twice that of active downstream facilities ... The control tests [age, height, volume, seismic hazard, wind speed, and rainfall] showed that the properties of the upstream samples (notably their distribution of age), have a small effect on the incidence of stability, however the estimated effect is only about one standard error, and is not sufficient to account for their higher than average incidence*” [Nossas descobertas revelam que, na prática, as instalações ativas a montante apresentam uma incidência maior de problemas de estabilidade (18,3%) do que outros tipos de instalações, e que esse risco elevado persiste mesmo quando essas instalações são construídas em ambientes com boa governança... A probabilidade de um problema de estabilidade em instalações ativas a montante é o dobro da probabilidade em instalações ativas a jusante... Os testes de controle [idade, altura, volume, risco sísmico, velocidade do vento e precipitação] mostraram que as propriedades das amostras a montante (notadamente sua distribuição de idade) têm um pequeno efeito na incidência de problemas de estabilidade; no entanto, o efeito estimado é de apenas cerca de um erro padrão e não é suficiente para explicar sua incidência acima da média]. A questão da estabilidade foi uma resposta à pergunta específica “*Has this facility, at any point in its history, failed to be confirmed or certified as stable, or experienced notable stability concerns, as identified by an independent engineer (even if later certified as stable by the same or a different firm)?*” [Em algum momento de sua história, esta instalação deixou de ser confirmada ou certificada como estável, ou apresentou problemas de estabilidade significativos, conforme identificado por um engenheiro independente (mesmo que posteriormente tenha sido certificada como estável pela mesma empresa ou por outra)?] com o esclarecimento “*We note that this will depend on factors including local legislation that are not necessarily tied to best practice. As such, and because remedial action may have been taken, a ‘Yes’ answer may not indicate heightened risk. Stability concerns might include toe seepage, dam movement, overtopping, spillway failure, piping etc. If yes, have appropriately designed and reviewed mitigation actions been implemented? We also note that this question does not bear upon the appropriateness of the criteria, but rather the stewardship levels of the facility or the dam*” [Observamos que isso dependerá de fatores, incluindo a legislação local, que não estão necessariamente ligados às melhores práticas. Sendo assim, e considerando que medidas corretivas podem ter sido tomadas, uma resposta “Sim” pode não indicar um risco elevado. As preocupações com a estabilidade podem incluir infiltração na base da barragem, movimentação da estrutura, galgamento, falha do vertedouro, erosão interna, etc. Em caso afirmativo, as ações de mitigação foram devidamente projetadas e implementadas após a devida revisão? Observamos também que esta pergunta não se refere à adequação dos critérios, mas sim aos níveis de gestão da instalação ou da barragem]. Figura de Franks et al. (2021) com sobreposição de etiquetas em português.

Além de questões de estabilidade mais acentuadas, Piciullo et al. (2022) documentaram a representação desproporcionalmente elevada de barragens de rejeitos a montante entre os casos de falha de barragens de rejeitos (ver Fig. 14). De acordo com Piciullo et al. (2022), *“Joining the databases on failures and existing dams, the fraction of failures as a function of the dam construction method has been computed ... we observe that for a relatively high fraction of the incidents in the failure database the construction method was not known ... For the tailings dam failures with a documented construction method, a higher frequency (relative to total number of dams in the catalogue of tailings dams) is observed for the upstream method (0.13), followed by the centreline construction method (0.11) and the downstream construction method (0.07) ... An analysis with the failure database only ... suggests that the downstream method is second in terms of number of failures ... The analysis presented in Fig. 13 [Fig. 14 in this report], using failure and nonfailure databases, shows that the frequency of failures is lower for the downstream method compared to the centreline. This result agrees with the survey carried out by Franks et al., 2021, who highlighted that active upstream facilities show a higher incidence of stability issues than other construction methods”* [Ao combinar os bancos de dados sobre falhas e barragens existentes, calculou-se a fração de falhas em função do método de construção da barragem ... observamos que, para uma fração relativamente alta dos incidentes no banco de dados de falhas, o método de construção era desconhecido ... Para as falhas de barragens de rejeitos com método construtivo documentado, observa-se uma frequência mais elevada (em relação ao número total de barragens no catálogo de barragens de rejeitos) para o método a montante (0,13), seguido pelo método construtivo de linha de centro (0,11) e pelo método construtivo a jusante (0,07) ... Uma análise considerando apenas o banco de dados de falhas ... sugere que o método a jusante ocupa o segundo lugar em termos de número de falhas ... A análise apresentada em Fig. 13 [Fig. 14 neste relatório], utilizando bancos de dados de falhas e não falhas, demonstra que a frequência de falhas é menor para o método a jusante em comparação ao método de linha de centro. Esse resultado corrobora o levantamento realizado por Franks et al. (2021), que destacaram que as instalações ativas a montante apresentam uma incidência maior de problemas de estabilidade do que outros métodos construtivos].

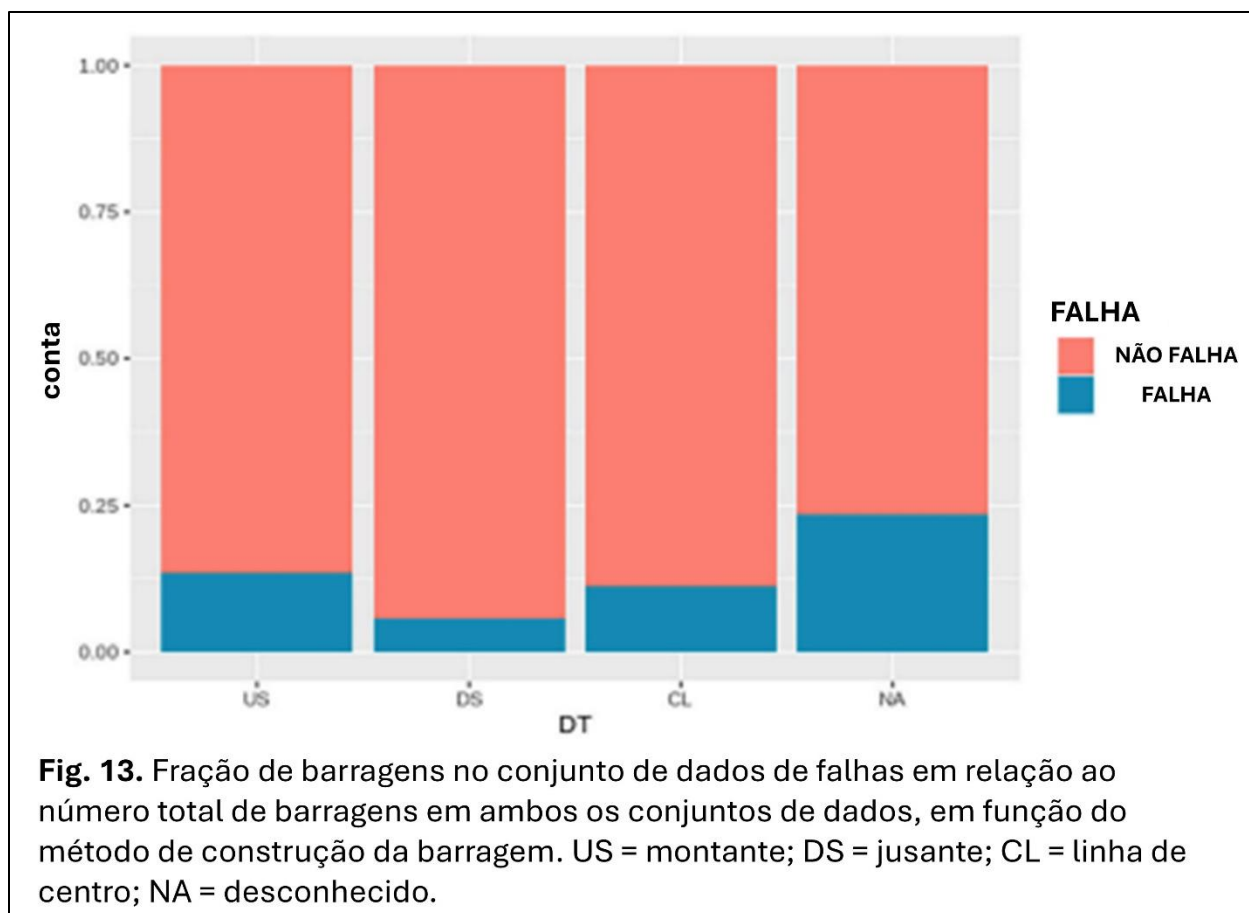


Figura 14. Ao comparar conjuntos de dados sobre falhas de barragens de rejeitos em nível global (Center for Science in Public Participation, 2025) com dados sobre barragens de rejeitos em nível global (Franks et al., 2021; UNEP et al., 2025), Piciullo et al. (2022) demonstraram uma representação desproporcionalmente grande de barragens de rejeitos construídas pelo método a montante entre os casos de falhas. DT = Tipo de Barragem, US = Montante, DS = Jusante, CL = Linha de Centro. Figura de Piciullo et al. (2022) com sobreposição de etiquetas em português.

Em contraposição a todas as precauções e proibições anteriores, persiste na literatura de mineração a alegação de que as barragens de rejeitos a montante podem ser seguras se forem construídas e operadas em condições ideais (baixa sismicidade e precipitação) e por pessoal altamente qualificado que não cometa erros. O artigo clássico nessa área é o de Martin et al. (2002), que escreveram: “*Upstream dams are not necessarily inherently unstable and dangerous. They can be as safe as other types of dams provided site conditions are favorable and that the rules for their safe design, construction and operation are followed ... Conventional upstream dams cannot be considered for areas of moderate to high seismicity. Improved upstream construction, involving a combination of compaction of the outer shell and good internal drainage, can be used in such areas*” [As barragens a montante não são, necessariamente, inerentemente instáveis e perigosas. Elas podem ser tão seguras quanto outros tipos de barragens, desde que as condições do local sejam favoráveis e que as normas para seu projeto, construção e operação seguros sejam seguidas]. Martin et al. (2002) apresentaram então dez regras para a construção segura de barragens a montante. Destaca-se a regra de que “*upstream dams should be raised at slopes of 4H:1V or flatter ... If an upstream constructed dam is raised at a slope steeper than 4H:1V, the likelihood of a static undrained failure due to minimal trigger is*

increased” [as barragens a montante devem ser alteadas com taludes de 4H:1V ou mais suaves ... Se uma barragem construída a montante for alteada com um talude mais inclinado do que 4H:1V, aumenta-se a probabilidade de uma falha estática não drenada decorrente de um gatilho mínimo] (Martin et al., 2002; ver Fig. 15). À lista de regras, Martin et al. (2002) acrescentaram a advertência, “*Of the 10 rules, a ‘score’ of 9/10 will not necessarily have a better outcome than 2/10, as any omission creates immediate candidacy for an upstream tailings dam to join the list of facilities that have failed due to ignoring some or all of the rules*” [Das 10 regras, uma ‘pontuação’ de 9/10 não resultará necessariamente em um desfecho melhor do que 2/10, visto que qualquer omissão torna imediatamente candidata uma barragem de rejeitos a montante a integrar a lista de instalações que falharam por terem ignorado algumas ou todas as regras] (ênfase adicionada por Hopkins e Kemp (2021)).

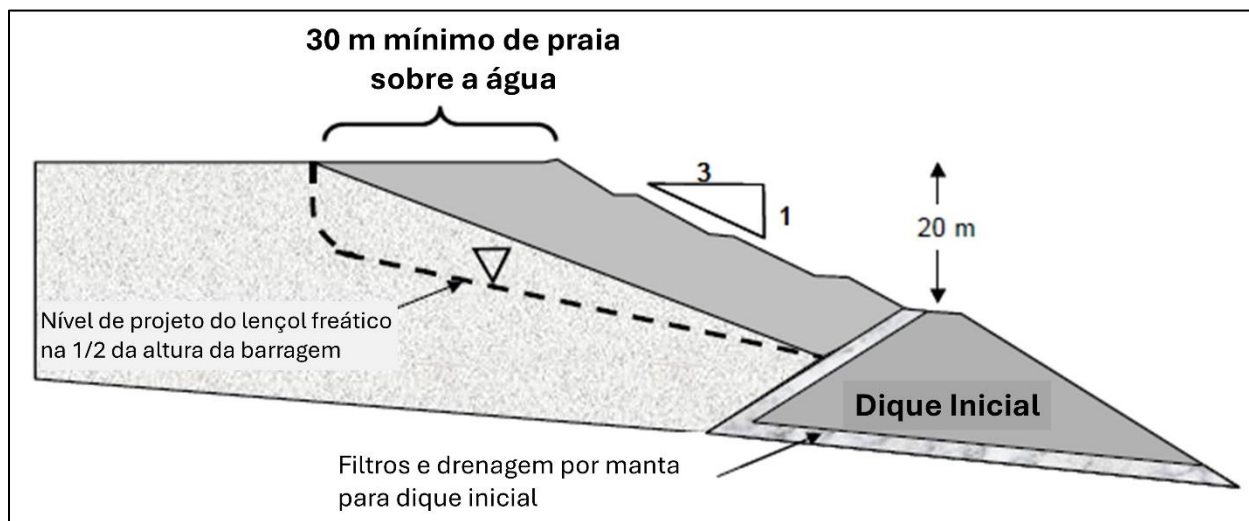


Figura 15. Martin et al. (2002) listaram dez regras para a construção segura de barragens a montante, com a advertência de que “*of the 10 rules, a ‘score’ of 9/10 will not necessarily have a better outcome than 2/10, as any omission creates immediate candidacy for an upstream tailings dam to join the list of facilities that have failed due to ignoring some or all of the rules*” [das 10 regras, uma “pontuação” de 9/10 não garante necessariamente um resultado melhor do que 2/10, visto que qualquer omissão torna a barragem de rejeitos imediatamente candidata a integrar a lista de instalações que falharam por ignorar algumas ou todas as regras]. Deve-se notar que, no momento atual, “*Existe amplo consenso entre engenheiros, especialmente em setores de alto risco como a aviação e oleodutos, que todas as estruturas construídas devem ser robustas e ter múltiplos mecanismos de respaldo e segurança. A necessidade de cumprir as dez regras, sem margem de erro, não prenuncia um empreendimento seguro*” (Morrill et al., 2022). Algumas das dez regras de Martin et al. (2002) são ilustradas na figura acima, que visa mostrar um projeto padrão que atende a quatro das dez regras. Em particular, a inclinação do aterro de 3H:1V violou a regra de que “*upstream dams should be raised at slopes of 4H:1V or flatter*” [as barragens a montante devem ser construídas com inclinações de 4H:1V ou mais planas] (Martin et al., 2002). Figura de Martin et al. (2022) com sobreposição de etiquetas em português.

Hopkins e Kemp (2021) reagiram ao alerta de Martin et al. (2002) escrevendo: “*This is a slightly obscure statement that may need to be read twice to reveal its true meaning*” [Esta é uma afirmação ligeiramente obscura que talvez precise ser lida duas vezes para revelar seu verdadeiro significado]. (A interpretação do autor é que, na perspectiva de Hopkins e Kemp (2021), Martin et al. (2002) descreveram a construção de barragens a montante como se fosse uma espécie de expedição de escalada no gelo em que tudo correria bem desde que não fossem cometidos erros.) Morrill et al. (2022) aprofundaram ainda mais a crítica ao escreverem: “*Em teoria, é possível construir e operar uma barragem de alteamento a montante em condições limitadas de baixa*

atividade sísmica, baixa precipitação e se operada por pessoal altamente capacitado. Mesmo sob essas condições limitadas, um artigo muito influente no ramo de rejeitos cita muitos antecedentes e argumenta que, há dez regras obrigatórias na construção de barragens de alteamento a montante e que nenhuma delas pode ser violada sem incorrer um risco substancial de falha. Existe amplo consenso entre engenheiros, especialmente em setores de alto risco como a aviação e oleodutos, que todas as estruturas construídas devem ser robustas e ter múltiplos mecanismos de respaldo e segurança. A necessidade de cumprir as dez regras, sem margem de erro, não prenuncia um empreendimento seguro”.

Em março de 2023, a indústria de mineração denunciou veementemente o método a montante no Manual de Mineração de Superfície da SME e o Manual de Mineração Subterrânea da SME, não importa quantas regras tenham sido seguidas. De acordo com o Manual de Mineração de Superfície da SME, “*Not mentioned in Table 4 [Tailings storage facility failures by decade from 1950 to December 16, 2020] is the fact that the upstream method of raising the level of the dams has been utilized in many of the most serious failures. This is in spite of the fact that the dangers of failure inherent with the upstream method have been recognized for many decades - see for example, Klohn (1972), who states that the ‘history of this method of dam construction is plagued with failures, some of them catastrophic’*” [Não mencionado na Tabela 4 [Falhas em instalações de armazenamento de rejeitos por década, de 1950 até 16 de dezembro de 2020] é o fato de que o método a montante de alteamento das barragens tem sido empregado em muitas das falhas mais graves. Isso ocorre a despeito de os perigos de falha inerentes ao método a montante serem reconhecidos há muitas décadas - ver, por exemplo, Klohn (1972), que afirma que a “história desse método de construção de barragens é marcada por falhas, algumas delas catastróficas”] (Turek, 2023). De acordo com o Manual de Mineração Subterrânea da SME, “*The industry has only itself to blame because the issues with upstream lifts have been known for decades (Klohn 1972) ...*” [A indústria só tem a culpar a si mesma, pois os problemas com os alteamentos a montante são conhecidos há décadas (Klohn 1972) ...] (Darling, 2023).

A insistência de que o perigo do método de construção a montante é bem conhecido há mais de cinco décadas nunca será enfatizada o suficiente. De acordo com Klohn (1972), “*There is a limiting height to which such a dam [constructed using the upstream method] can be raised before a shear failure occurs and the tailings flow out. In regions subject to seismic shocks, failure of this type of dam by liquefaction can occur at very low heights. In fact, the history of this method of dam construction is plagued with failures, some of them catastrophic*” [Existe uma altura-limite até a qual tal barragem [construída utilizando o método a montante] pode ser elevada antes que ocorra uma falha por cisalhamento e os rejeitos extravasem. Em regiões sujeitas a abalos sísmicos, a falha desse tipo de barragem por liquefação pode ocorrer a alturas muito reduzidas. De fato, a história desse método de construção de barragens é marcado por falhas, algumas delas catastróficas].

De acordo com Klohn (1972), o método de construção a montante era “o método antigo” e já estava ultrapassado. Klohn (1972) elaborou: “*A comparison between a typical water storage dam and two types of tailings dam, one built using the old upstream method of construction and the other built using the downstream method of construction, is most enlightening. An examination of Figure 3, which presents a comparison between a water storage dam and the old, upstream-construction type of tailings dam, shows that this type of tailings dam does not meet conventional requirements for slope stability, seepage control (internal drainage) and resistance to earthquake shocks. The factor of safety of the tailings dam is obviously very low even under normal, static conditions of loading. Any change in conditions that would result in saturation of*

*the outer sand dyke could quickly lead to failure by piping or sliding. Potential causes of saturation include such items as: a rise in water levels in the pond, freezing of seepage outlets on the downstream face of the dam, and torrential rainfall. Under earthquake loading the fine, loose tailings in the pond would tend to liquefy and the subsequent high lateral pressures would likely burst the thin, sand-dyke shell. In fact, if, at the time of the earthquake, part of the sand dyke were saturated it would likely fail without the thrust from the liquefied tailings it retains ... All upstream methods of tailings dam construction suffer the disadvantage of being built on top of previously deposited, unconsolidated tailings. These tailings have limited shear strength, are loose and usually are saturated. Under static loading conditions there is a limiting height to which such a dam can be built without danger of a shear failure occurring in the downstream direction. This height will depend on the strength of the tailings within the zone of shearing, the downstream slope of the tailings dam and the location of the phreatic line within the dam. Under earthquake loading, this type of dam may be subject to failure by liquefaction, at any height ... Upstream dam building is unsuitable for areas where the dam must be designed to resist earthquake shocks. **Even in non-seismic areas this method of construction is generally unsuitable for all but very minor tailings dams** ... Downstream dam building is the only procedure that permits design and construction of tailings dams to conventionally acceptable engineering standards ... All tailings dams located in seismic areas, and all major tailings dams, regardless of their location should be constructed using some form of the downstream method”*

[Uma comparação entre uma barragem típica de armazenamento de água e dois tipos de barragens de rejeitos, uma construída utilizando o antigo método de construção a montante e a outra, o método a jusante, é extremamente esclarecedora. A análise da Figura 3, que apresenta uma comparação entre uma barragem de armazenamento de água e o antigo tipo de barragem de rejeitos construída a montante, demonstra que esse tipo de barragem de rejeitos não atende aos requisitos convencionais de estabilidade de taludes, controle de percolação (drenagem interna) e resistência a abalos sísmicos. O fator de segurança da barragem de rejeitos é, evidentemente, muito baixo, mesmo sob normais condições estáticas de carregamento. Qualquer alteração nas condições que resulte na saturação do dique externo de areia poderia levar rapidamente a uma falha por erosão interna ou deslizamento. As causas potenciais de saturação incluem fatores como: a elevação dos níveis de água na lagoa, o congelamento das saídas de percolação na face de jusante da barragem e chuvas torrenciais. Sob a ação de cargas sísmicas, os rejeitos finos e fracos contidos na lagoa tenderiam a se liquefazer, e as consequentes pressões laterais elevadas provavelmente romperiam o invólucro fino do dique de areia. De fato, se, no momento do terremoto, parte do dique de areia estivesse saturada, ele provavelmente falharia mesmo sem o empuxo dos rejeitos liquefeitos que retém ... Todos os métodos a montante de construção de barragens de rejeitos apresentam a desvantagem de serem construídos sobre rejeitos previamente depositados e não consolidados. Esses rejeitos apresentam resistência ao cisalhamento limitada, são pouco compactados e, geralmente, encontram-se saturados. Sob condições de carregamento estático, existe uma altura limite até a qual tal barragem pode ser construída sem o risco de ocorrência de uma falha por cisalhamento na direção a jusante. Essa altura dependerá da resistência dos rejeitos na zona de cisalhamento, do talude de jusante da barragem de rejeitos e da localização da linha freática no interior da barragem. Sob a ação de cargas sísmicas, esse tipo de barragem pode estar sujeito a falha por liquefação, em qualquer altura ... A construção de barragens pelo método a montante é inadequada para áreas onde a barragem deve ser projetada para resistir a abalos sísmicos. **Mesmo em áreas não sísmicas, esse método de construção é, de modo geral, inadequado para todas as barragens de rejeitos, exceto as de porte muito**

reduzido ... A construção de barragens pelo método a jusante é o único procedimento que permite o projeto e a construção de barragens de rejeitos em conformidade com padrões de engenharia convencionalmente aceitáveis ... Todas as barragens de rejeitos situadas em áreas sísmicas, bem como todas as grandes barragens de rejeitos, independentemente de sua localização, devem ser construídas empregando-se alguma forma do método a jusante] (ênfase adicionada).

Análises Determinísticas vs. Empíricas de Ruptura de Barragens

Os métodos computacionais para a análise de ruptura de barragens, utilizando softwares como o HEC-RAS ou o FLO-2D, encontram-se atualmente bem estabelecidos na indústria de mineração. Esses métodos computacionais podem gerar previsões altamente detalhadas, tais como profundidades e velocidades de fluxo, bem como os tempos de chegada da onda de rejeitos. A desvantagem desses métodos computacionais é que eles exigem um número muito grande de parâmetros de entrada, incluindo a topografia detalhada, os detalhes da ruptura da barragem (tais como as dimensões e a taxa de crescimento da ruptura) e a reologia (comportamento de fluxo) dos rejeitos. Muitos desses parâmetros são pouco conhecidos, especialmente a reologia, de modo que podem estar sujeitos a manipulação, a qual pode ser intencional ou não intencional.

O método padrão na engenharia para conferir confiabilidade a modelos baseados em um número muito grande de parâmetros, alguns dos quais pouco conhecidos, consiste em validar e, posteriormente, calibrar o modelo. A validação do modelo refere-se à comparação das previsões do modelo com as observações. Por exemplo, uma cidade pode possuir um modelo para o seu sistema de gestão de águas pluviais. O modelo deve fazer previsões referentes, por exemplo, às velocidades ou profundidades do fluxo em algum canal de águas pluviais, durante um determinado evento de precipitação que também possa ser observado. Se as previsões forem completamente diferentes do que é observado durante aquele evento de precipitação específico, então o modelo precisa ser totalmente reconsiderado. No entanto, na maioria das vezes, as previsões são razoavelmente próximas das observações, mas não exatamente iguais a elas. Nesse caso, o modelo é calibrado, o que significa que os parâmetros menos conhecidos são ajustados até que as previsões correspondam às observações. Em circunstâncias ideais, esses tipos de modelos computacionais são continuamente atualizados por meio da calibração, à medida que novas observações se tornam disponíveis para comparação com as previsões.

O problema com os modelos computacionais para análises de ruptura de barragens de rejeitos é que tais modelos nunca são calibrados. Esses modelos só poderiam ser calibrados se uma falha de pequena magnitude já tivesse ocorrido em uma determinada barragem de rejeitos e se as observações decorrentes dessa falha estivessem sendo utilizadas para calibrar um modelo visando a uma futura falha de grande magnitude. O autor desconhece qualquer modelo computacional que tenha sido, de fato, calibrado sob as circunstâncias supracitadas. Assim, em todos os casos, os modelos computacionais para rupturas de barragens de rejeitos não são calibrados, pois não existem observações (nem profundidades de fluxo, velocidades de fluxo ou tempos de chegada da onda de rejeitos) com as quais comparar as previsões. Em outras palavras, as análises computacionais de ruptura de barragens de rejeitos devem apresentar um baixo nível de confiança, quase por definição.

O processo de validação/calibração não deve ser confundido com um tipo mais básico de teste, denominado verificação. O processo de verificação constitui um meio de demonstrar que o

software é uma implementação correta da metodologia. Em outras palavras, tem sido amplamente demonstrado que o software FLO-2D resolve corretamente as equações de fluxo. No entanto, um modelo desenvolvido para uma barragem específica, construída de uma maneira específica, em uma localização específica e com características de rejeitos específicas, não pode ser utilizado para calibrar um modelo para uma barragem diferente, construída de uma maneira diferente, em uma localização diferente e com características de rejeitos diferentes.

Na ausência de quaisquer meios de calibração, uma análise de sensibilidade adequada é crucial para conferir certa confiabilidade a um modelo. Em uma análise de sensibilidade, cada parâmetro de entrada é variado dentro de sua faixa razoável, e o modelo é reexecutado para toda a faixa de parâmetros de entrada considerados razoáveis. A análise de sensibilidade constitui um elemento fundamental, seja para estabelecer a confiança nas previsões de um modelo, seja para evidenciar a verdadeira falta de confiança. Assim, se as previsões do modelo variarem amplamente diante de escolhas razoáveis dos parâmetros de entrada, tais previsões devem ser encaradas com grande suspeita. Devido à falta de calibração das análises de ruptura de barragens de rejeitos, a análise de sensibilidade constitui uma etapa crucial. De acordo com o Technical Bulletin: Tailings Dam Breach Analysis [Boletim Técnico: Análise de Ruptura de Barragem de Rejeitos] da Canadian Dam Association [Associação Canadense de Barragens], *“There are uncertainties inherent in every step of the TDBA [Tailings Dam Breach Analysis] and sensitivity analysis should be undertaken for each critical step to account for some of these uncertainties and to evaluate the impact on the TDBA results. Recognizing the complex nature of dam breach modelling and flood wave routing, it is important to examine a plausible range of outflow behaviours and satisfy that a reasonably conservative estimate of the runout path is defined”* [Existem incertezas inerentes a cada etapa da TDBA [Análise de Ruptura de Barragem de Rejeitos], e uma análise de sensibilidade deve ser realizada para cada etapa crítica, a fim de considerar algumas dessas incertezas e avaliar o impacto nos resultados da TDBA.

Reconhecendo a natureza complexa da modelagem de ruptura de barragens e do roteamento de ondas de cheia, é importante examinar uma faixa plausível de comportamentos de vazão e assegurar que seja definida uma estimativa razoavelmente conservadora da trajetória de propagação] (Canadian Dam Association, 2021). De acordo com o Manual de Gestão de Rejeitos de Mineração, *“In nearly every step of the TBA [Tailings Breach Analysis], there is some uncertainty. To reflect this lack, a sensitivity analysis should be considered on all TBAs ... The sensitivity analysis should show the uncertainty in the input parameters and model limitations to provide reasonably conservative downstream flood routing and inundation results”* [Em praticamente todas as etapas da TBA [Análise de Ruptura de Barragens de Rejeitos], existe alguma incerteza. Para refletir essa lacuna, uma análise de sensibilidade deve ser considerada em todas as TBAs ... A análise de sensibilidade deve evidenciar a incerteza nos parâmetros de entrada e as limitações do modelo, a fim de fornecer resultados de propagação de cheias a jusante e de inundação que sejam razoavelmente conservadores] (Clohan e Kidner, 2022).

Uma alternativa à dependência de modelos computacionais com seus parâmetros de entrada intensivos é o uso de modelos empíricos ou estatísticos desenvolvidos a partir de falhas passadas de barragens de rejeitos. O modelo estatístico mais recente sobre falhas passadas de barragens de rejeitos foi desenvolvido por Larrauri e Lall (2018). O modelo estatístico prevê o escoamento inicial dos rejeitos após a falha da barragem. O escoamento inicial corresponde à distância percorrida pelos rejeitos em decorrência da liberação de energia potencial gravitacional, à medida que estes caem para fora do depósito de rejeitos. Após a cessação do escoamento inicial, processos fluviais normais podem transportar os rejeitos a jusante indefinidamente, até

que estes atinjam um grande lago ou o oceano. Quando o escoamento inicial atinge um rio de grande porte, pode ser difícil distinguir esse escoamento inicial dos processos fluviais normais subsequentes. Por exemplo, a falha da barragem de rejeitos na mina Samarco em Minas Gerais, Brasil, despejou rejeitos no Rio Doce, fazendo com que o escoamento inicial se estendesse por 637 quilômetros até o Oceano Atlântico (Larrauri e Lall, 2018).

Segundo Larrauri e Lall (2018), o melhor preditor do escoamento inicial dos rejeitos liberados é o fator de barragem H_f , definido como

$$H_f = H \left(\frac{V_F}{V_T} \right) V_F \quad (1)$$

onde H é a altura da barragem (metros), V_T é o volume total de rejeitos e água confinados (milhões de metros cúbicos) e V_F é o volume de libertação (milhões de metros cúbicos). As previsões mais prováveis para o volume de libertação e para o escoamento inicial D_{max} (quilômetros) são, então

$$V_F = 0,332 \times V_T^{0,95} \quad (2)$$

$$D_{max} = 3,04 \times H_f^{0,545} \quad (3)$$

Deve-se notar que as Eqs. (2)-(3) expressam as consequências mais prováveis da ruptura da barragem. Em particular, a consequência mais provável é que a ruptura da barragem resultará na liberação de cerca de um terço dos rejeitos armazenados (ver Eq. (2)). No entanto, o pior cenário possível é que a ruptura da barragem resultará na liberação de 100% dos rejeitos armazenados, para o qual existem pelo menos quatro exemplos (Larrauri e Lall, 2018; Center for Science in Public Participation [Centro para a Ciência na Participação Pública], 2025). Portanto, a distância de escoamento de pior caso ($V_F = V_T$) deve ser calculada usando Eq. (3) com

$$H_f = HV_T \quad (4)$$

As Eqs. (2)-(3) serão atualizadas utilizando dados mais recentes na seção “Respostas”.

A desvantagem do método empírico ou estatístico é que ele fornece apenas o volume de libertação e a distância de escoamento, em vez dos detalhes bidimensionais das profundidades de fluxo, das velocidades de escoamento e dos tempos de chegada da onda de rejeitos que são fornecidos por um modelo computacional. Naturalmente, outra desvantagem é que o método estatístico leva em consideração apenas a altura da barragem e o volume de armazenamento, e nenhuma outra característica da barragem de rejeitos, dos próprios rejeitos ou da topografia a jusante (embora tais características possam ser pouco conhecidas). A melhor abordagem costuma ser a comparação dos resultados de um modelo estatístico com os de um modelo computacional. Se um modelo computacional fizer previsões muito diferentes das de um modelo estatístico, o modelo computacional deve ser encarado com grande suspeita. Outro meio de testar um modelo computacional consiste em comparar as velocidades de fluxo de rejeitos previstas com as velocidades de fluxo medidas em casos passados de falhas de barragens de rejeitos. Se um modelo computacional produzir previsões que sejam, grosso modo, consistentes com as falhas de

barragens de rejeitos ocorridas no passado, então é apropriado utilizá-lo para realizar previsões mais detalhadas do que as que podem ser obtidas por meio de modelos empíricos.

Regulamentações Brasileiras de Barragens de Rejeitos

As regulamentações brasileiras mais importantes referentes a barragens de rejeitos são a Resolução nº 13, de 8 de agosto de 2019 (ANM, 2019b), que revogou a Resolução nº 4, de 15 de fevereiro de 2019 (ANM, 2019a), e a Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022 (ANM, 2022), que revogou a Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017 (ANM, 2017). A Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022 (ANM, 2022), foi alterada em 2023 e 2024, e nenhuma nova regulamentação sobre barragens de rejeitos surgiu desde então. Esta subseção foca no significado preciso do fechamento de uma barragem de rejeitos construída pelo método a montante, bem como nas regras precisas para o cálculo da Categoria de Risco e do Dano Potencial Associado. Os requisitos para os Planos de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM) serão discutidos na seção “Respostas”.

De acordo com a ANM (2022), “Art. 2º Fica proibida a utilização do método de alteamento de barragens de mineração denominado "a montante" em todo o território nacional ... Para fins desta Resolução, entende-se por: I - método ‘a montante’: a metodologia construtiva de barragens onde os maciços de alteamento, se apoiam sobre o próprio rejeito ou sedimento previamente lançado e depositado, estando também enquadrados nessa categoria os maciços formados sobre rejeitos de reservatórios já implantados”. A Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022, continua, “Art. 8º Com vistas a minimizar o risco de rompimento, em especial por liquefação, das barragens alteadas pelo método a montante ou por método declarado como desconhecido, o empreendedor deverá: ... III - concluir a descaracterização da barragem nos seguintes prazos: i. Até 15 de setembro de 2022, para barragens com volume ≤ 12 milhões de metros cúbicos, conforme Cadastro Nacional de Barragens de Mineração do SIGBM; ii. Até 15 de setembro de 2025, para barragens com volume entre 12 milhões e 30 milhões de metros cúbicos, conforme Cadastro Nacional de Barragens de Mineração do SIGBM; e iii. Até 15 de setembro de 2027, para barragens com volume ≥ 30 milhões de metros cúbicos, conforme Cadastro Nacional de Barragens de Mineração do SIGBM”. O SIGBM (Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração) está publicamente disponível no Brasil no site da ANM (ANM, 2025).

Em resumo, as barragens de rejeitos existentes a montante devem ser “descaracterizadas”. O termo “descaracterização” requer uma análise cuidadosa em termos do que significa e do que não significa, visto que o conceito não existe de fato fora das regulamentações brasileiras de barragens de rejeitos. De acordo com as regulamentações brasileiras, uma “Barragem de mineração descaracterizada” é uma “estrutura que não recebe, permanentemente, aporte de rejeitos e/ou sedimentos oriundos de sua atividade fim, a qual deixa de possuir características ou de exercer função de barragem, de acordo com projeto técnico, compreendendo, mas não se limitando, às seguintes etapas concluídas:

- a) Descomissionamento: encerramento das operações com a remoção das infraestruturas associadas, tais como, mas não se limitando: a espigotes e tubulações, exceto aquelas destinadas à garantia da segurança da estrutura;
- b) Controle hidrológico e hidrogeológico: adoção de medidas efetivas para reduzir ou eliminar o aporte de águas superficiais e subterrâneas para o reservatório, bem como a redução controlada da linha freática no interior do reservatório;

- c) Estabilização: execução de medidas tomadas para garantir a estabilidade física e química de longo prazo das estruturas que permanecerem no local; e
- d) Monitoramento: acompanhamento pelo período mínimo de 2 (dois) anos após a conclusão das obras de descaracterização, objetivando assegurar a eficácia das medidas de estabilização” (ANM, 2022).

Em síntese complementar, a “descaracterização” não significa necessariamente a remoção dos rejeitos para um local seguro (tal como uma cava a céu aberto abandonada) e a subsequente destruição física da barragem; tampouco a “descaracterização” significa necessariamente colocar a estrutura de rejeitos em um estado no qual não subsistam modos de falha plausíveis. A descaracterização exige apenas a “estabilização”, isto é, a “execução de medidas tomadas para garantir a estabilidade física e química de longo prazo das estruturas que permanecerem no local” (ANM, 2022). Infelizmente, as regulamentações brasileiras não definem “estabilidade física e química”, nem fica claro como tal estabilidade poderia, de fato, ser garantida. Em outras palavras, a “descaracterização”, conforme definida nas regulamentações brasileiras sobre barragens de rejeitos, difere substancialmente das condições sob as quais o monitoramento de longo prazo, as inspeções, a manutenção e as revisões poderiam ser encerrados (o que corresponderia à eliminação de todos os modos de falha plausíveis), conforme estabelecido em A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração (Morrill et al., 2022). Na verdade, “descaracterização” nem sempre significa que o depósito de rejeitos tenha cessado completamente. De acordo com as regulamentações brasileiras, uma “barragem de rejeitos descaracterizada” é uma “estrutura que não recebe, permanentemente, aporte de rejeitos e/ou sedimentos oriundos de sua atividade fim” (ANM, 2022). Assim, uma instalação de armazenamento de rejeitos descaracterizada poderia continuar a receber rejeitos em qualquer etapa do processo de descaracterização, desde que a deposição de novos rejeitos não fosse “permanente”.

Sob outra perspectiva, o conceito de “descaracterização”, tal como definido nas regulamentações brasileiras, é inconsistente com os padrões da indústria de mineração referentes ao fechamento de instalações de armazenamento de rejeitos. Conforme explicado na subseção “Barragens de Rejeitos vs. Barragens de Retenção de Água”, tanto o Manual de Gestão de Rejeitos de Mineração da SME (Morrison e Lammers, 2022) quanto o Serviço Florestal dos EUA (Werner, 2025) indicam que as instalações de armazenamento de rejeitos exigem manutenção perpétua, o que difere completamente da “estabilização” seguida por dois anos de monitoramento, conforme descrito nas quatro etapas de descaracterização mencionadas anteriormente. Além disso, de acordo com o Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos (GISTM), todas as instalações de armazenamento de rejeitos em “pós-fechamento” ou “cuidados passivos” devem ser capazes de suportar uma inundação com um período de retorno de 10.000 anos (probabilidade anual de excedência de 0,01%), independentemente das consequências de uma falha durante a fase operacional (ICMM-UNEP-PRI, 2020). A Glencore, a South32 e a Rio Tinto são todas Empresas-Membro do ICMM e, portanto, estão obrigadas a cumprir integralmente os requisitos do GISTM para todas as instalações de armazenamento de rejeitos até 5 de agosto de 2025 (ICMM, 2021, 2025). Além disso, entre os Membros Associados do ICMM incluem-se a Aluminum Association [Associação do Alumínio], o Australasian Institute of Mining and Metallurgy [Instituto Australasiano de Mineração e Metalurgia] (AusIMM), a Eurometaux, a Euromines, o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), o International Aluminum Institute [Instituto Internacional do Alumínio] (IAI) e o Minerals Council of Australia [Conselho de Minerais da Austrália] (MCA), de modo que a conformidade

com o GISTM é amplamente reconhecida na Austrália, no Brasil, na Europa e na indústria do alumínio. Em contrapartida, a regulamentação brasileira carece de qualquer conceito de “cheia de projeto” para uma instalação de armazenamento de rejeitos “descaracterizada”. O conceito de “vazão de projeto” é discutido com maior detalhe na seção “Respostas”.

Como uma nota final, embora as regulamentações brasileiras listem o “descomissionamento” como apenas a primeira etapa da descaracterização, o termo em inglês “*decommissioning*” possui um significado muito diferente em documentos de orientação sobre segurança de barragens de rejeitos em inglês, nos quais “*decommissioning*” significa que os rejeitos foram realocados e a barragem de rejeitos foi removida. De acordo com a Associação Canadense de Barragens (2019), “*The term ‘decommissioning’ is often used when referring to closure of mining dams. In this Bulletin, the term ‘decommissioning’ is used when referring to removal or breach of a dam so that it no longer retains tailings or water that may pose safety or environmental concerns. Partial breaching of a dam is considered rehabilitation not decommissioning. The portion of the dam that remains in place holding tailings back will still need to function as a tailings retaining dam (if the tailings can flow). In general, water retaining dams can be decommissioned by breaching. **Decommissioning of a tailings retaining dam will typically require complete removal of the dam and relocation of tailings it retains***” [O termo “descomissionamento” é frequentemente utilizado ao se referir ao fechamento de barragens de mineração. Neste Boletim, o termo “descomissionamento” é empregado para designar a remoção ou a ruptura de uma barragem, de modo que esta deixe de reter rejeitos ou água que possam representar riscos à segurança ou ao meio ambiente. A parte da barragem que permanece no local, contendo os rejeitos, ainda precisará funcionar como uma barragem de contenção de rejeitos (caso estes possam fluir). Em geral, barragens de contenção de água podem ser descomissionadas por meio de ruptura controlada. **O descomissionamento de uma barragem de rejeitos exigirá, tipicamente, a remoção completa da barragem e a realocação dos rejeitos que ela retém**] (ênfase adicionada). A ICOLD (2022) afirma de forma mais sucinta, “*For dams that can be breached and removed from service, where they no longer contain water or flowable tailings, this is referred to as decommissioning*” [Para barragens que podem ser rompidas e retiradas de operação, deixando de conter água ou rejeitos fluidos, esse processo é denominado descomissionamento]. A Associação Canadense de Barragens continua explicando que o descomissionamento nem sempre é viável para instalações de armazenamento de rejeitos, o que é consistente com a posição da indústria e do Serviço Florestal dos EUA de que a manutenção perpétua é necessária. De acordo com a Canadian Dam Association (2019), “*From an environmental perspective, dams that contain noncontaminated solids are easier to breach than dams that contain contaminated solids. When there is no practical option to decommission the dam, the dam must be designed and maintained as a long term and possibly permanent structure*” [Do ponto de vista ambiental, barragens que contêm sólidos não contaminados são mais fáceis de romper do que aquelas que contêm sólidos contaminados. Quando não há opção prática para descomissionar a barragem, esta deve ser projetada e mantida como uma estrutura de longo prazo e, possivelmente, permanente].

Esta revisão das regulamentações brasileiras sobre barragens de rejeitos volta-se agora para o sistema de pontuação utilizado para classificar uma barragem de rejeitos em uma Categoria de Risco e em um Dano Potencial Associado (DPA). Para cada barragem de rejeitos, são atribuídas pontuações a dez Características Técnicas (CT) (ver Tabelas 6a-b), a cinco aspectos do Estado de Conservação (EC) (ver Tabela 7) e a cinco aspectos do Plano de Segurança da Barragem (PS) (ver Tabela 8). Para a Categoria de Risco, a pontuação total (CRI)

corresponde à soma CT + EC + PS. Pontuações também são atribuídas a quatro aspectos do Potencial de Dano Associado, resultando em uma pontuação total (DPA) (ver Tabela 9). Cada barragem de rejeitos é, então, classificada em uma Categoria de Risco (Baixo, Médio, Alto), em função do valor do CRI (ver Tabela 10a). A exceção é que uma pontuação de 10 em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) atribui automaticamente à barragem a Categoria de Risco Alta (ver Tabela 10a). De modo semelhante, cada barragem de rejeitos é classificada em um Potencial de Dano Associado (Baixo, Médio, Alto), dependendo do valor do DPA (ver Tabela 10b).

Tabela 6a. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022)

²Continuação em Tabela 6b

Tabela 6b. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j)$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022)

²Continuação de Tabela 6a

Tabela 7. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Estado de Conservação (EC)¹

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o)$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022)

Tabela 8. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t)$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022)

Tabela 9. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d)$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022)

Tabela 10a. Classificação para barragens de mineração—Categoria de Risco¹

	Categoria de Risco	CRI²
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	≥ 80 ou EC = 10 (*)
	MÉDIO	$40 < \text{CRI} < 80$
	BAIXO	≤ 40

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

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022)

²Pontuação Total (CRI) = Características Técnicas (CT) + Estado de Conservação (EC) + Plano de Segurança de Barragens (PS)

Tabela 10b. Classificação para barragens de mineração—Dano Potencial Associado

	Dano Potencial Associado	DPA
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	≥ 13
	MÉDIO	$7 < \text{DPA} < 13$
	BAIXO	≤ 7

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022)

Para este relatório, três aspectos da Categoria de Risco de particular interesse são a inclinação média dos taludes na seção principal (ver Tabela 6a), o método construtivo (ver Tabela 6b) e a documentação de projeto (ver Tabela 8). As regulamentações brasileiras não exigem nenhuma inclinação máxima específica; no entanto, quaisquer inclinações mais acentuadas do que 1V:2H recebem a pontuação mais alta (Categoria de Risco mais elevada) para essa característica específica. Das 30 barragens de rejeitos da mina MRN, 24 apresentam a pontuação mais alta para a inclinação do talude (ver Tabela 2a). Outras três barragens de rejeitos (SP-25A, SP-25B, SP-25C) possuem inclinações intermediárias, correspondendo a taludes na faixa de 1V:3H a 1V:2H (comparar Tabelas 2a e 6a). Mais três barragens de rejeitos (SP-24A, SP-24B, SP-24C) com inclinações intermediárias não estão, atualmente, armazenando rejeitos (ver Tabela 2a).

As quatro opções possíveis para o método construtivo são, em ordem crescente de perigo: etapa única, a jusante, na linha de centro e a montante ou desconhecido (ver Tabela 6b). Assim, barragens de rejeitos construídas utilizando o método a montante e barragens de rejeitos cujo método de construção é desconhecido são consideradas igualmente arriscadas. Vale ressaltar que a exigência de descaracterização de barragens a montante aplica-se também às barragens cujo método construtivo é desconhecido (ANM, 2022). O método construtivo pode ser desconhecido porque uma barragem de rejeitos foi abandonada e não existe nenhuma empresa remanescente que possua a documentação de projeto, ou porque uma empresa de mineração adquiriu uma mina com uma ou mais barragens de rejeitos para as quais não havia documentação de projeto. De qualquer modo, seria certamente uma engenharia deficiente por parte de uma empresa mineradora desconhecer o método construtivo de uma barragem de rejeitos que ela própria construiu ou encomendou.

Nessa mesma linha, existem seis opções possíveis para a documentação de projeto. As barragens de rejeitos mais seguras são aquelas para as quais estão disponíveis tanto a documentação de “projeto executivo” quanto a de “como construído” (ver Tabela 8). Um documento de “como construído” compara o projeto original com o que foi efetivamente

construído e registra quaisquer discrepâncias. A documentação “como construído” tem sido padrão na construção de barragens desde a década de 1970 (Fell et al., 2015). O nível seguinte de perigo corresponde às barragens de rejeitos para as quais a empresa possui o projeto executivo ou a documentação como construído, mas não ambos (ver Tabela 8). Um nível de perigo mais elevado é atribuído às barragens de rejeitos para as quais a empresa não possui nem o projeto executivo nem a documentação como construído, mas possui o “projeto ‘como está’”, que se refere a um documento que reconstrói o projeto com base nas condições atuais (ver Tabela 8). Níveis de perigo sucessivamente mais elevados são atribuídos às barragens de rejeitos para as quais existe apenas um projeto básico, apenas um projeto conceitual ou nenhuma documentação de projeto (ver Tabela 8).

RESUMO DAS BARRAGENS DE REJEITOS NA MINA MRN

Análises Computacionais de Ruptura de Barragem e Planos de Ação de Emergência

Esta subseção examina, em grande parte, as consequências da falha das barragens de rejeitos na mina MRN, com base na sucessão de análises computacionais de ruptura de barragens e nos Planos de Ação de Emergência que estiveram disponíveis ao autor (BVP Engenharia, 2018a-c; DAM, 2020a-c; Pimenta de Ávila Consultoria, 2020ab, 2021, 2023, 2024, 2025; Golder, 2021a-b). Para a análise das consequências da ruptura das barragens de rejeitos TP1 e TP2, a BVP Engenharia (2018c) considerou três cenários. O Cenário A calculou a inundação resultante de uma cheia com período de retorno de 100 anos (probabilidade anual de excedência de 1%) nos cursos d’água a jusante da barragem de rejeitos, sem a ruptura de nenhuma das barragens de rejeitos (ver Fig. 16a e Tabela 11a). O Cenário A estabelece, assim, uma linha de base para comparação com a inundação resultante da ruptura de uma barragem de rejeitos. De particular interesse é a localização da comunidade de Sapucuá a sudeste da interseção da grade nas coordenadas 9.800.000 N e 580.000 E (ver Fig. 16a), a qual não se repete de forma consistente nos mapas de inundação dos demais cenários. De qualquer modo, Fig. 16a demonstra que uma cheia com período de retorno de 100 anos nos cursos d’água a jusante das barragens de rejeitos resultará na inundação da comunidade de Sapucuá, mesmo sem qualquer contribuição das barragens de rejeitos. A cor azul em Fig. 16a provavelmente indica o limite de inundação a uma profundidade de 2 pés (0,61 metros) (uma escolha comum para o limite de inundação), mas isso não foi esclarecido em BVP Engenharia (2018c). A mesma falta de clareza aplica-se a todos os mapas de inundação subsequentes da BVP Engenharia (2018c) que são discutidos neste relatório.

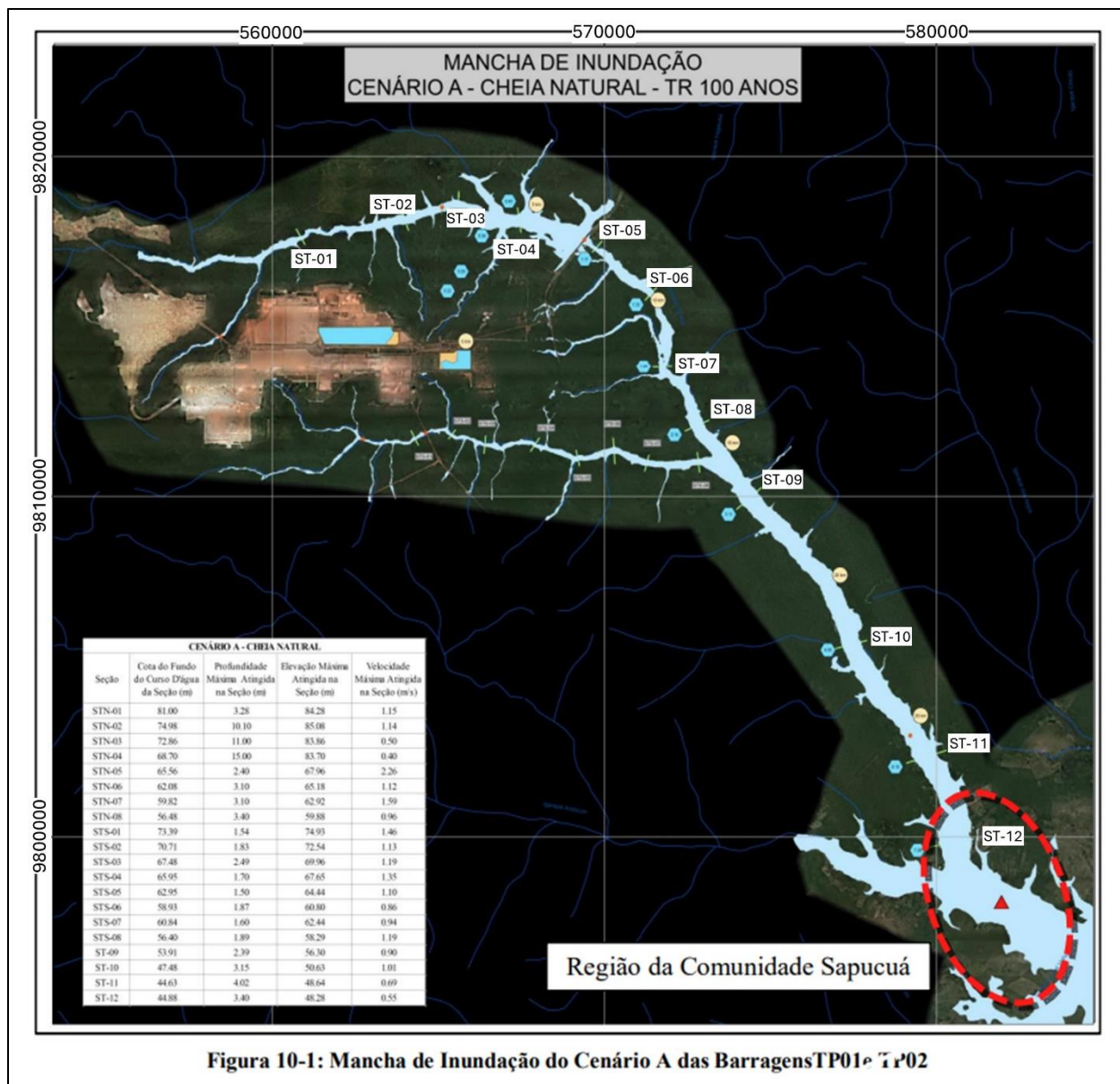


Figura 10-1: Mancha de Inundação do Cenário A das Barragens TP01 e TP02

Figura 16a. A BVP Engenharia (2018c) calculou a inundação que resultará de uma cheia com tempo de retorno de 100 anos nos cursos d'água a jusante da barragem de rejeitos, sem ocorrer a falha de nenhuma das barragens de rejeitos (denominado Cenário A). Uma vez que as análises das falhas das barragens de rejeitos TP1 e TP2 durante uma inundação com tempo de retorno de 10.000 anos (denominada Cenário C) supunham uma inundação com tempo de retorno de 100 anos nos cursos d'água a jusante (uma contradição ilógica), o mapa acima mostra o cenário base para inundações sem contribuição adicional das instalações de armazenamento de rejeitos (comparar com Figs. 16d-f). A cor azul indica provavelmente o limite da inundação a uma profundidade de 0,61 metros, mas isso não foi esclarecido pela BVP Engenharia (2018c). Notar a localização da comunidade de Sapucaá a sudeste da interseção das coordenadas 9800000 N e 580000 E. Ver a seleção de parâmetros de inundação na tabela inserida na Tabela 11a deste relatório. Figura da BVP Engenharia (2018c) com sobreposição de etiquetas maiores.

Tabela 11a. Valores de inundação para cheias com tempo de retorno de 100 anos sem ruptura da barragem de rejeitos^{1,2}

CENÁRIO A - CHEIA NATURAL				
Seção	Cota do Fundo do Curso D'água da Seção (m)	Profundidade Máxima Atingida na Seção (m)	Elevação Máxima Atingida na Seção (m)	Velocidade Máxima Atingida na Seção (m/s)
STN-01	81,00	3,28	84,28	1,15
STN-02	74,98	10,10	85,08	1,14
STN-03	72,86	11,00	83,86	0,50
STN-04	68,70	15,00	83,70	0,40
STN-05	65,56	2,40	67,96	2,26
STN-06	62,08	3,10	65,18	1,12
STN-07	59,82	3,10	62,92	1,59
STN-08	56,48	3,40	59,88	0,96
STS-01	73,39	1,54	74,93	1,46
STS-02	70,71	1,83	72,54	1,13
STS-03	67,48	2,49	69,96	1,19
STS-04	65,95	1,70	67,65	1,35
STS-05	62,95	1,50	64,44	1,10
STS-06	58,93	1,87	60,80	0,86
STS-07	60,84	1,60	62,44	0,94
STS-08	56,40	1,89	58,29	1,19
ST-09	53,91	2,39	56,30	0,90
ST-10	47,48	3,15	50,63	1,01
ST-11	44,63	4,02	48,64	0,69
ST-12	44,88	3,40	48,28	0,55

¹Tabela redesenhada a partir da BVP Engenharia (2018c)

²Ver mapa em Fig. 16a.

O Cenário B corresponde à inundação resultante da ruptura de uma barragem de rejeitos durante um “dia seco”, isto é, com vazão normal nos cursos d’água a jusante e falha decorrente de algum mecanismo distinto do galgamento. Fig. 16b e Tabela 11b apresentam a inundação resultante da falha da parede norte da barragem de rejeitos TP1, no âmbito do Cenário B. O cálculo pressupôs que a inundação de rejeitos ficaria represada atrás de um aterro rodoferroviário, com fluxo controlado através de uma galeria de drenagem. De acordo com a BVP Engenharia (2018a-b), “Recomenda-se que seja realizado um estudo com intuito de verificar a integridade do aterro da rodoferrovia”. No entanto, não há indicação de que tal estudo tenha sido realizado, e a mesma premissa foi adotada em análises posteriores de ruptura de barragens e em Planos de Ação de Emergência (DAM, 2020b; Pimenta de Ávila Consultoria, 2020ab, 2021, 2023; Golder, 2021a-b). Assim como ocorreu com a cor azul, o significado do padrão hachurado não foi esclarecido em BVP Engenharia (2018c). O padrão hachurado não indica a extensão do represamento a montante do aterro ferroviário, uma vez que também ocorre no lado a jusante do aterro (ver Fig. 16b). A mesma falta de clareza (tanto em relação à cor azul quanto ao padrão hachurado) aplica-se a todos os mapas de inundação subsequentes da BVP Engenharia (2018c) que são discutidos neste relatório. Uma fonte semelhante de confusão é que

apenas as estações de ST-08 a ST-12 incluem a nota de rodapé “Quando o hidrograma de ruptura atinge o aterro da rodoferrovia é amortecido e as vazões a jusante são regularizadas” (ver Tabela 11b), mesmo que as estações ST-05, ST-06 e ST-07 estejam todas a jusante do aterro ferroviário (ver Fig. 16b). De fato, as estações ST-10 a ST-12 estão até mesmo fora do mapa (ver Fig. 16b). A conclusão importante é que a interseção de grade mais a sudeste em Fig. 16b corresponde a 9.810.000 N, 575.000 E; portanto, a inundação de rejeitos resultante de uma ruptura da parede norte de TP1 durante um “dia seco” não atingirá a comunidade de Sapucúá (comparar Figs. 16a e 16b).

A BVP Engenharia (2018c) também calculou a inundação resultante da ruptura da parede sul da barragem de rejeitos TP1 sob o Cenário B (um “dia seco”, sem precipitação e com vazão normal nos cursos d’água a jusante) (ver Fig. 16c e Tabela 11c). Esta versão da análise computacional de ruptura de barragem indicou que a inundação de rejeitos atingiria a comunidade de Sapucúá apenas marginalmente (ver Fig. 16c). Há duas ressalvas em relação à conclusão precedente, a qual parece indicar que a comunidade de Sapucúá estaria segura durante uma falha de “dia seco” de TP1. A primeira ressalva é que o triângulo vermelho em Fig. 16c indica o centro aproximado de Sapucúá (compare com Fig. 16a), ao passo que Fig. 16a mostra que a comunidade de Sapucúá se estende por aproximadamente 3.500 metros para noroeste (mais próxima das barragens de rejeitos). A segunda ressalva é que, assim como no caso da ruptura da parede norte de TP1, a Tabela 11c inclui a nota de rodapé “Quando o hidrograma de ruptura atinge o aterro da rodoferrovia é amortecido e as vazões a jusante são regularizadas” para as estações ST-08 a ST-12. No entanto, a Fig. 16c mostra a trajetória da inundação de rejeitos passando bem ao sul dos aterros ferroviários (comparar com Fig. 16b).

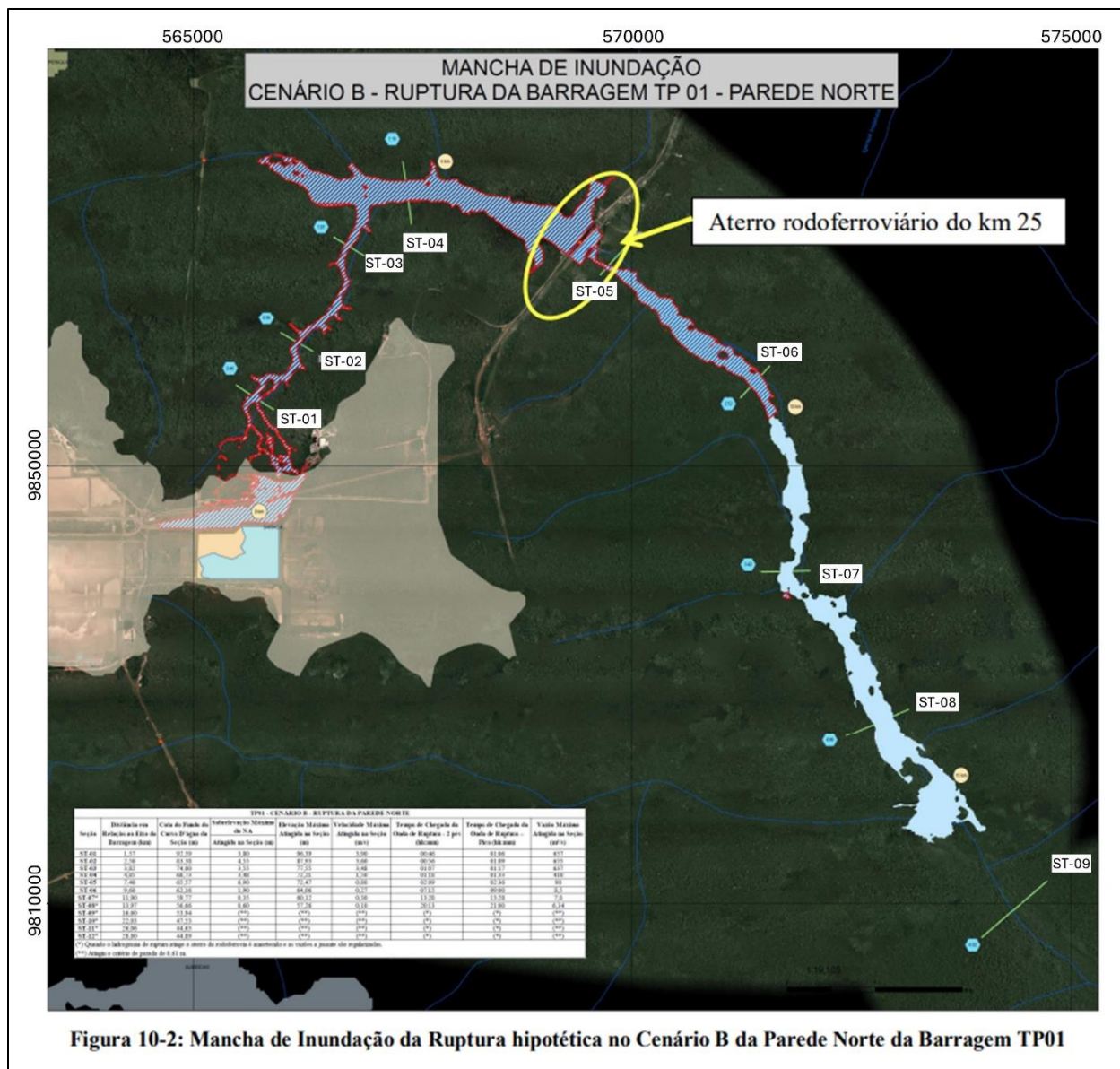


Figura 10-2: Mancha de Inundação da Ruptura hipotética no Cenário B da Parede Norte da Barragem TP01

Figura 16b. A BVP Engenharia (2018c) calculou a inundação que resultará da falha da parede norte da barragem de rejeitos TP1 durante um “dia seco”, considerando a ausência de precipitação e o fluxo normal nos cursos d’água a jusante (denominado Cenário B). O cálculo considerou que a inundação de rejeitos ficaria represada atrás de um aterro rodoferroviário, com fluxo controlado através de uma galeria de drenagem. De acordo com a BVP Engenharia (2018a-b), “Recomenda-se que seja realizado um estudo com intuito de verificar a integridade do aterro da rodoferrovia”. No entanto, não há indícios de que tal estudo tenha sido realizado. A cor azul indica provavelmente o limite de inundação a uma profundidade de 0,61 metros, mas isso não foi esclarecido no documento da BVP Engenharia (2018c), que também não esclareceu o significado do padrão hachurado. Notar a localização da comunidade de Sapucú a sudeste da interseção das coordenadas 9800000 N e 580000 E (comparar com Fig. 16a). Ver a seleção de parâmetros de inundação na tabela inserida na Tabela 11b deste relatório. Figura da BVP Engenharia (2018c) com sobreposição de etiquetas maiores.

Tabela 11b. Valores de inundação para ruptura da parede norte de TP1 no cenário de “dia seco”^{1,2}

TP01 - CENÁRIO B - RUPTURA DA PAREDE NORTE					
Seção	Distância em Relação ao Eixo da Barragem (km)	Sobrelevação Máxima do NA Atingido na Seção (m)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura – 2 pés (hh:mm)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura - Pico (hh:mm)	Vazão Máxima Atingida na Seção (m³/s)
ST-01	1,57	3,80	00:46	01:06	657
ST-02	2,50	4,55	00:56	01:09	655
ST-03	3,82	3,55	01:07	01:17	637
ST-04	4,85	3,48	01:18	01:33	410
ST-05	7,40	6,90	02:09	02:36	90
ST-06	9,60	1,90	07:15	09:00	8,5
ST-07	11,90	0,35	13:28	13:28	7,8
ST-08*	13,97	0,60	20:13	21:00	6,34
ST-09*	16,60	(**)	(*)	(*)	(**)
ST-10*	22,03	(**)	(*)	(*)	(**)
ST-11*	26,06	(**)	(*)	(*)	(**)
ST-12*	28,80	(**)	(*)	(*)	(**)

(*) Quando o hidrograma de ruptura atinge o aterro da rodoferrovia é amortecido e as vazões a jusante são regularizadas.

(**) Atingiu o critério de parada de 0,61 m

¹Tabela redesenhada a partir da BVP Engenharia (2018c)

²Ver mapa em Fig. 16b.

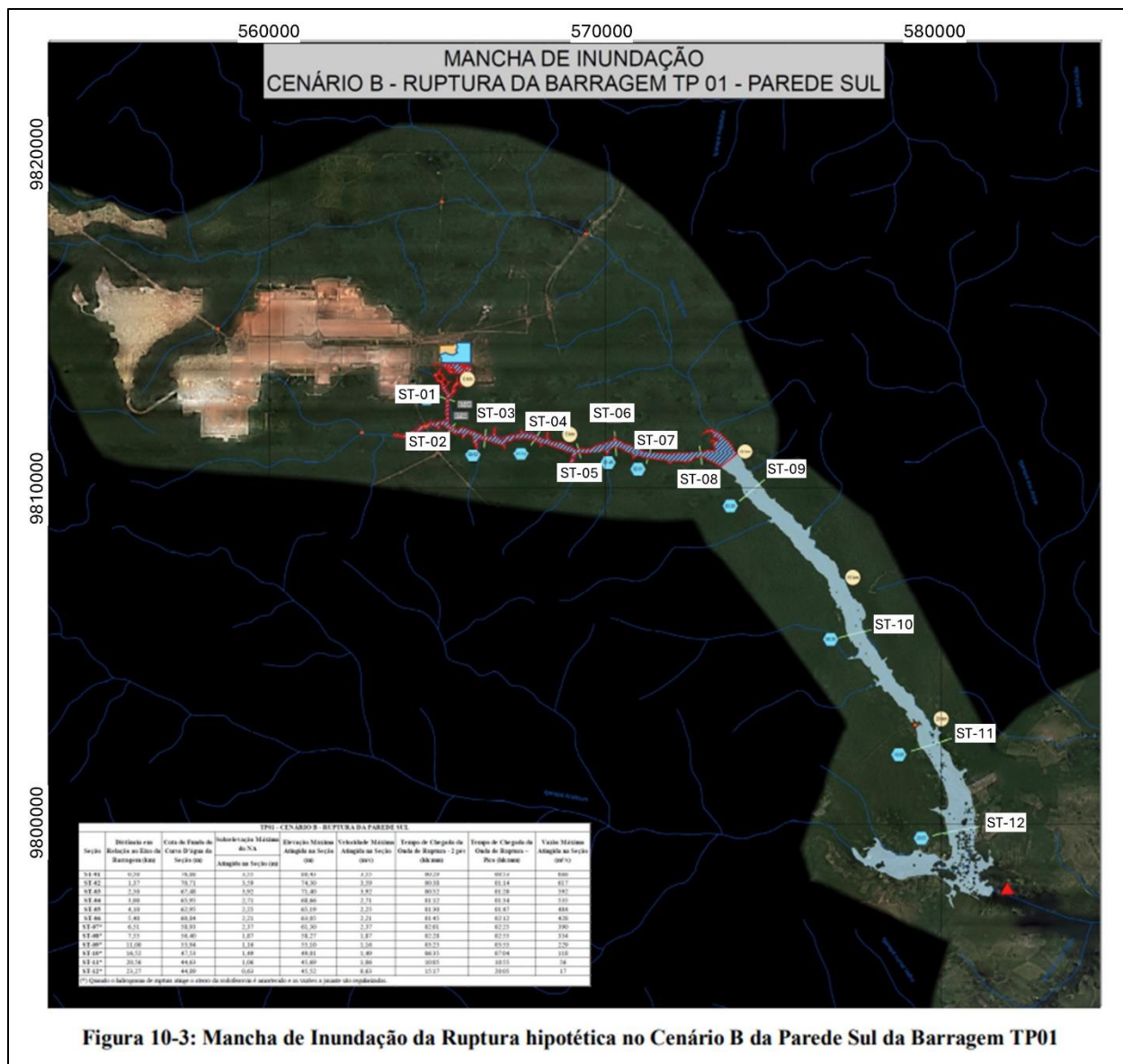


Figura 10-3: Mancha de Inundação da Ruptura hipotética no Cenário B da Parede Sul da Barragem TP01

Figura 16c. A BVP Engenharia (2018c) calculou a inundação que resultará da falha da parede sul da barragem de rejeitos TP1 durante um “dia seco”, considerando a ausência de precipitação e o fluxo normal nos cursos d’água a jusante (denominado Cenário B). O cálculo considerou que a inundação de rejeitos ficaria represada atrás de um aterro rododiferroviário, com fluxo controlado através de uma galeria de drenagem (comparar com Fig. 16b). De acordo com a BVP Engenharia (2018a-b), “Recomenda-se que seja realizado um estudo com intuito de verificar a integridade do aterro da rododiferrovia”. No entanto, não há indícios de que tal estudo tenha sido realizado. A cor azul indica provavelmente o limite de inundação a uma profundidade de 0,61 metros, mas isso não foi esclarecido no documento da BVP Engenharia (2018c), que também não esclareceu o significado do padrão hachurado. Notar a localização da comunidade de Sapucaá no triângulo vermelho a sudeste da interseção das coordenadas 9800000 N e 580000 E (comparar com Fig. 16a). Ver a seleção de parâmetros de inundação na tabela inserida na Tabela 11c deste relatório. Figura da BVP Engenharia (2018c) com sobreposição de etiquetas maiores.

Tabela 11c. Valores de inundação para ruptura da parede sul de TP1 no cenário de “dia seco”^{1,2}

TP01 - CENÁRIO B - RUPTURA DA PAREDE SUL					
Seção	Distância em Relação ao Eixo da Barragem (km)	Sobrelevação Máxima do NA Atingido na Seção (m)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura – 2 pés (hh:mm)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura - Pico (hh:mm)	Vazão Máxima Atingida na Seção (m³/s)
ST-01	0,50	3,55	00:29	00:53	688
ST-02	1,37	3,59	00:38	01:14	617
ST-03	2,50	3,92	00:52	01:20	592
ST-04	3,00	2,71	01:12	01:34	535
ST-05	4,10	2,25	01:30	01:47	484
ST-06	5,40	2,21	01:45	02:12	428
ST-07	6,51	2,37	02:01	02:25	390
ST-08*	7,55	1,87	02:28	02:55	334
ST-09*	11,00	1,16	03:25	03:55	229
ST-10*	16,52	1,49	06:35	07:04	118
ST-11*	20,56	1,06	10:05	10:55	56
ST-12*	23,27	0,63	15:17	20:05	17

(*) Quando o hidrograma de ruptura atinge o aterro da rodoferrovia é amortecido e as vazões a jusante são regularizadas.

¹Tabela redesenhada a partir da BVP Engenharia (2018c)

²Ver mapa em Fig. 16c.

O Cenário C corresponde à inundação resultante da ruptura de uma barragem de rejeitos devido ao galgamento durante uma tempestade com período de retorno de 10.000 anos (probabilidade anual de excedência de 0,01%). Por exemplo, Fig. 16d e Tabela 11d apresentam a inundação calculada pela BVP Engenharia (2018c) como resultado da ruptura da parede norte da barragem de rejeitos TP1, no âmbito do Cenário C. A análise computacional de ruptura de barragem, no âmbito do Cenário C, pressupôs, ademais, que, embora se tenha assumido a ocorrência de uma tempestade com período de retorno de 10.000 anos na barragem de rejeitos, ocorreria uma cheia com período de retorno de apenas 100 anos nos cursos d’água situados a jusante da barragem de rejeitos, o que constitui uma contradição ilógica. O período de retorno da cheia nos cursos d’água a jusante (correspondente à magnitude da cheia) constitui uma premissa importante, pois determina a velocidade com que os rejeitos liberados da barragem de rejeitos se propagarão a jusante. De acordo com a Canadian Dam Association [Associação Canadense de Barragens] (2021), “*The pre-breach flood event in the drainage network immediately downstream of the TSF [Tailings Storage Facility] should be the same flood event that was assumed for the breach and then prorated with distance from the TSF*” [O evento de cheia pré-ruptura na rede de drenagem imediatamente a jusante da TSF [Instalação de Armazenamento de Rejeitos] deve corresponder ao mesmo evento de cheia assumido para a ruptura e, subsequentemente, ser proporcionalizado em função da distância em relação à TSF]. Em outras palavras, embora não se possa necessariamente presumir que uma tempestade de 10.000 anos ocorra simultaneamente em uma barragem de rejeitos na mina MRN e na comunidade de

Sapucuá, a premissa de que a magnitude da tempestade diminua de uma cheia de 10.000 anos para uma cheia de 100 anos, da face de montante para a face de jusante do maciço de uma barragem de rejeitos, aproxima-se da premissa menos conservadora, isto é, a premissa que minimiza os impactos a jusante decorrentes da ruptura da barragem de rejeitos. A onda de rejeitos também encontraria o aterro ferroviário (comparar Figs. 16d e 16b); portanto, a premissa adicional de que o aterro ferroviário resistiria à tempestade extrema e cumpriria a função de regularizar a onda de rejeitos, forçando-a a fluir através da galeria de drenagem, constitui outra premissa não conservativa que minimiza o impacto a jusante. De qualquer modo, apesar da premissa de um fluxo reduzido nos cursos d'água a jusante e da permanência do aterro ferroviário, a BVP Engenharia (2018c) calculou que a onda de rejeitos resultante de uma ruptura por galgamento da parede norte de TP1 alcançará e ultrapassará a comunidade de Sapucuá (triângulo vermelho em Fig. 16d, estendendo-se por 3.500 metros a noroeste e a sudeste), podendo obliterar a comunidade.

No caso da ruptura da parede sul de TP1 sob o Cenário C, a BVP Engenharia (2018c) calculou que a inundação de rejeitos mal alcançará o centro da comunidade de Sapucuá (ver Fig. 16e e Tabela 11e). Neste caso, deve-se ter em mente que a comunidade de Sapucuá se estende por 3.500 metros a noroeste (ver Fig. 16a), bem como as premissas anteriores de que apenas uma cheia com período de retorno de 100 anos ocorreria nos cursos d'água a jusante e de que o aterro ferroviário resistiria à tempestade, sendo fatores que, em conjunto, minimizam os impactos a jusante. É também difícil compreender por que as estações ST-07 e ST-08 seriam afetadas pelo aterro ferroviário (comparar Tabela 11e com Fig. 16e e observar a localização do aterro ferroviário em Fig. 16b). Apenas o ramal norte do curso d'água (que não receberia rejeitos provenientes da ruptura da parede sul de TP1) encontraria o aterro ferroviário (comparar Figs. 16d e 16a), e apenas as estações de ST-09 a ST-12 situam-se a jusante da confluência do ramal norte com o ramal sul (que receberia rejeitos provenientes da ruptura da parede sul de TP1). Seguindo a mesma linha de raciocínio, é confuso o motivo pelo qual o cálculo da inundação resultante de uma cheia com tempo de retorno de 100 anos sem falhas das barragens de rejeitos (ver Fig. 16a e Tabela 11a) não mostrou nenhum impacto do encontro com o aterro ferroviário (observar a ausência da nota de rodapé “Quando o hidrograma de ruptura atinge o aterro da rodoferrovia é amortecido e as vazões a jusante são regularizadas” em Tabela 11a).

Como exemplo final, a BVP Engenharia (2018c) demonstrou que, no Cenário C, a ruptura da parede norte da barragem de rejeitos TP2 fará com que o fluxo passe por e oblitere potencialmente a comunidade de Sapucuá (ver Fig. 16f e Tabela 11f). Assim como ocorreu com as consequências da falha de TP1, as consequências da falha de TP2 podem ter sido subestimadas devido à premissa de ocorrência de uma cheia com período de retorno de apenas 100 anos nos cursos d'água a jusante, bem como à premissa de que o aterro ferroviário e a galeria de drenagem resistiriam a uma tempestade extrema. Em resumo, para ambas as barragens de rejeitos TP1 e TP2, existe um modo de falha plausível (galgamento de alguma parede em resposta a uma cheia com período de retorno de 10.000 anos) que resultará na chegada da onda de rejeitos à comunidade de Sapucuá, com consequências potencialmente desastrosas. Não há análise de ruptura de barragem referente à barragem de rejeitos TP3 disponível para o autor.

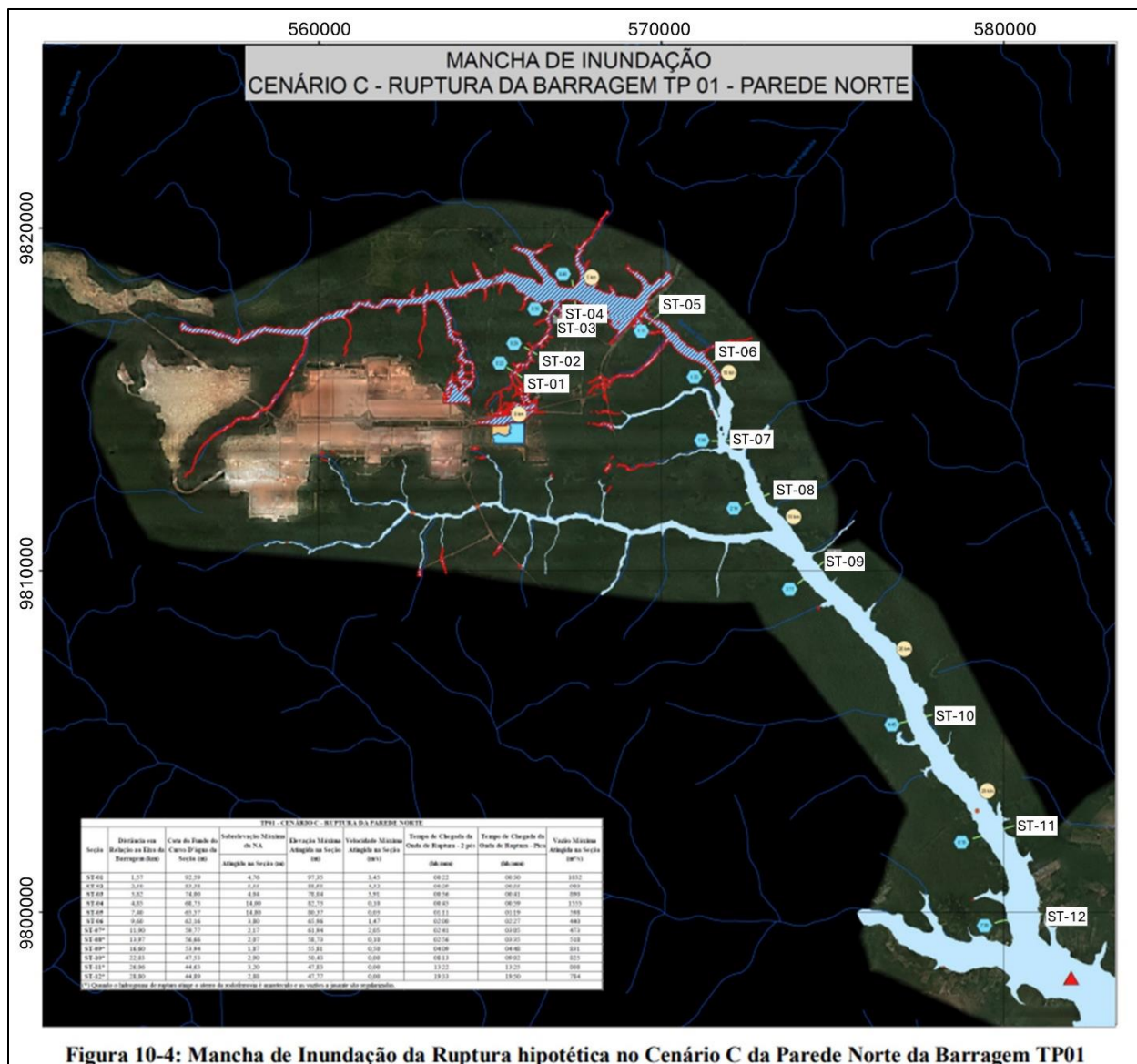


Figura 10-4: Mancha de Inundação da Ruptura hipotética no Cenário C da Parede Norte da Barragem TP01

Figura 16d. A BVP Engenharia (2018c) calculou a inundação que resultará da falha da parede norte da barragem de rejeitos TP1 devido ao galgamento durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos (denominado Cenário C), mas considerando uma cheia com tempo de retorno de 100 anos nos cursos d'água a jusante (uma contradição ilógica). O cálculo considerou que a inundação de rejeitos ficaria represada atrás de um aterro rodoferroviário, com fluxo controlado através de uma galeria de drenagem (comparar com Fig. 16b). De acordo com a BVP Engenharia (2018a-b), "Recomenda-se que seja realizado um estudo com intuito de verificar a integridade do aterro da rodoferrovia". No entanto, não há indícios de que tal estudo tenha sido realizado. A cor azul indica provavelmente o limite de inundação a uma profundidade de 0,61 metros, mas isso não foi esclarecido no documento da BVP Engenharia (2018c), que também não esclareceu o significado do padrão hachurado. Notar a localização da comunidade de Sapucuá no triângulo vermelho a sudeste da interseção das coordenadas 9800000 N e 580000 E (comparar com Fig. 16a). Assim, o mapa esclarece que a inundação de rejeitos resultante de uma falha por galgamento da barragem TP1 atingirá e passará pela comunidade de Sapucuá, podendo obliterar completamente a comunidade. Ver a seleção de parâmetros de inundação na tabela inserida na Tabela 11d deste relatório. Figura da BVP Engenharia (2018c) com sobreposição de etiquetas maiores.

Tabela 11d. Valores de inundação para ruptura da parede norte de TP1 para um cenário de inundação com tempo de retorno de 10.000 anos^{1,2}

TP01 - CENARIO C - RUPTURA DA PAREDE NORTE					
Seção	Distância em Relação ao Eixo da Barragem (km)	Sobrelevação Máxima do NA Atingido na Seção (m)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura – 2 pés (hh:mm)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura - Pico (hh:mm)	Vazão Máxima Atingida na Seção (m³/s)
ST-01	1,57	4,76	00:22	00:30	1032
ST-02	2,50	5,55	00:29	00:35	980
ST-03	3,82	4,04	00:36	00:41	890
ST-04	4,85	14,00	00:45	00:59	1555
ST-05	7,40	14,80	01:11	01:19	598
ST-06	9,60	3,80	02:00	02:27	440
ST-07*	11,90	2,17	02:41	03:05	473
ST-08*	13,97	2,07	02:56	03:35	518
ST-09*	16,60	1,87	04:09	04:48	831
ST-10*	22,03	2,90	08:13	09:02	825
ST-11*	26,06	3,20	13:22	13:25	808
ST-12*	28,80	2,88	19:33	19:50	784

(*) Quando o hidrograma de ruptura atinge o aterro da rodoferrovia é amortecido e as vazões a jusante são regularizadas.

¹Tabela redesenhada a partir da BVP Engenharia (2018c)

²Ver mapa em Fig. 16d.

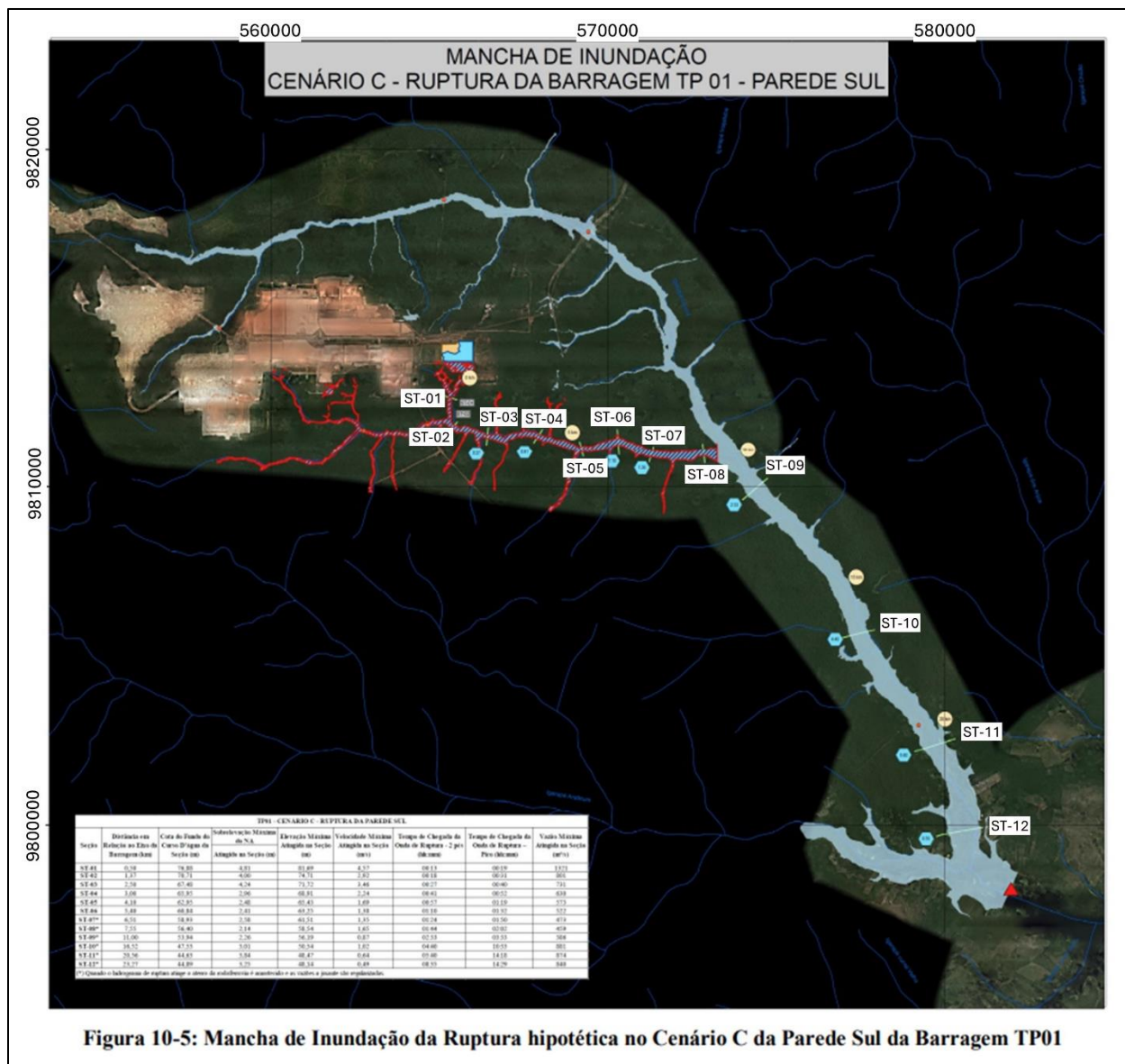


Figura 10-5: Mancha de Inundação da Ruptura hipotética no Cenário C da Parede Sul da Barragem TP01

Figura 16e. A BVP Engenharia (2018c) calculou a inundação que resultará da falha da parede sul da barragem de rejeitos TP1 devido ao galgamento durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos (denominado Cenário C), mas considerando uma cheia com tempo de retorno de 100 anos nos cursos d'água a jusante (uma contradição ilógica). O cálculo considerou que a inundação de rejeitos ficaria represada atrás de um aterro rodoferroviário, com fluxo controlado através de uma galeria de drenagem (comparar com Fig. 16b). De acordo com a BVP Engenharia (2018a-b), "Recomenda-se que seja realizado um estudo com intuito de verificar a integridade do aterro da rodoferrovia". No entanto, não há indícios de que tal estudo tenha sido realizado. A cor azul indica provavelmente o limite de inundação a uma profundidade de 0,61 metros, mas isso não foi esclarecido no documento da BVP Engenharia (2018c), que também não esclareceu o significado do padrão hachurado. Notar a localização da comunidade de Sapucuá no triângulo vermelho a sudeste da interseção das coordenadas 9800000 N e 580000 E (comparar com Fig. 16a). Assim, o mapa esclarece que a inundação de rejeitos resultante de uma falha por galgamento da barragem TP1 atingirá a comunidade de Sapucuá. Ver a seleção de parâmetros de inundação na tabela inserida na Tabela 11e deste relatório. Figura da BVP Engenharia (2018c) com sobreposição de etiquetas maiores.

Tabela 11e. Valores de inundação para ruptura da parede sul de TP1 para um cenário de inundação com tempo de retorno de 10.000 anos^{1,2}

TP01 - CENARIO C - RUPTURA DA PAREDE SUL					
Seção	Distância em Relação ao Eixo da Barragem (km)	Sobrelevação Máxima do NA Atingido na Seção (m)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura – 2 pés (hh:mm)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura - Pico (hh:mm)	Vazão Máxima Atingida na Seção (m³/s)
ST-01	0,50	4,81	00:13	00:19	1321
ST-02	1,37	4,00	00:18	00:31	801
ST-03	2,50	4,24	00:27	00:40	731
ST-04	3,00	2,96	00:41	00:52	630
ST-05	4,10	2,48	00:57	01:19	573
ST-06	5,40	2,41	01:10	01:32	522
ST-07*	6,51	2,58	01:24	01:50	473
ST-08*	7,55	2,14	01:44	02:02	459
ST-09*	11,00	2,26	02:33	03:33	386
ST-10*	16,52	3,01	04:40	10:33	881
ST-11*	20,56	3,84	05:40	14:18	874
ST-12*	23,27	3,25	08:35	14:29	840

(*) Quando o hidrograma de ruptura atinge o aterro da rodoferrovia é amortecido e as vazões a jusante são regularizadas.

¹Tabela redesenhada a partir da BVP Engenharia (2018c)

²Ver mapa em Fig. 16e.

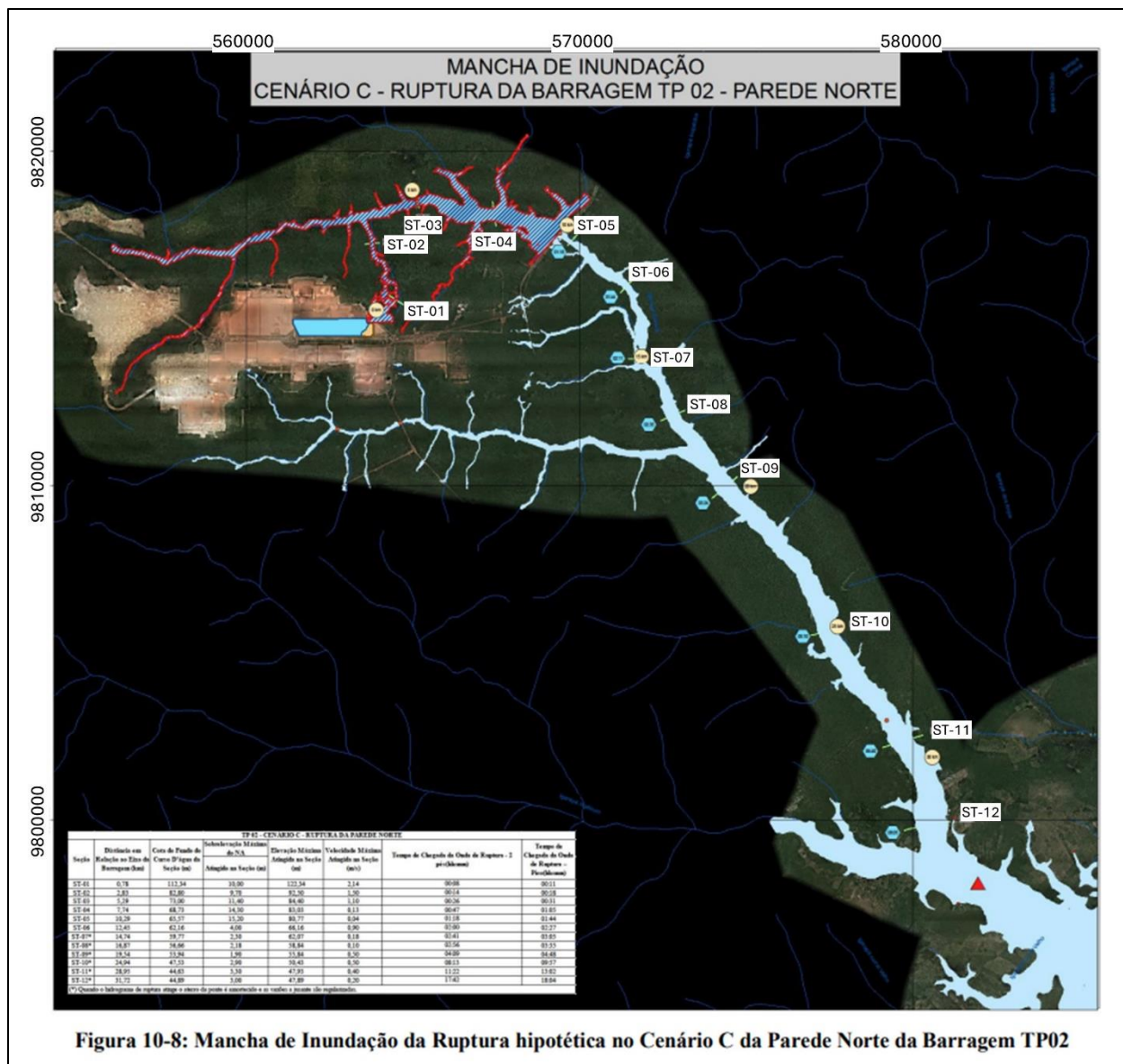


Figura 10-8: Mancha de Inundação da Ruptura hipotética no Cenário C da Parede Norte da Barragem TP02

Figura 16f. A BVP Engenharia (2018c) calculou a inundação que resultará da falha da parede norte da barragem de rejeitos TP2 devido ao galgamento durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos (denominado Cenário C), mas considerando uma cheia com tempo de retorno de 100 anos nos cursos d'água a jusante (uma contradição ilógica). O cálculo considerou que a inundação de rejeitos ficaria represada atrás de um aterro rodoferroviário, com fluxo controlado através de uma galeria de drenagem (comparar com Fig. 16b). De acordo com a BVP Engenharia (2018a-b), "Recomenda-se que seja realizado um estudo com intuito de verificar a integridade do aterro da rodoferrovia". No entanto, não há indícios de que tal estudo tenha sido realizado. A cor azul indica provavelmente o limite de inundação a uma profundidade de 0,61 metros, mas isso não foi esclarecido no documento da BVP Engenharia (2018c), que também não esclareceu o significado do padrão hachurado. Notar a localização da comunidade de Sapucaá no triângulo vermelho a sudeste da interseção das coordenadas 9800000 N e 580000 E (comparar com Fig. 16a). Assim, o mapa esclarece que a inundação de rejeitos resultante de uma falha por galgamento da barragem TP1 atingirá e passará pela comunidade de Sapucaá, podendo obliterar completamente a comunidade. Ver a seleção de parâmetros de inundação na tabela inserida na Tabela 11f deste relatório. Figura da BVP Engenharia (2018c) com sobreposição de etiquetas maiores.

Tabela 11f. Valores de inundação para ruptura da parede norte de TP2 para um cenário de inundação com tempo de retorno de 10.000 anos^{1,2}

TP02 - CENARIO C - RUPTURA DA PAREDE NORTE					
Seção	Distância em Relação ao Eixo da Barragem (km)	Sobrelevação Máxima do NA Atingido na Seção (m)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura – 2 pés (hh:mm)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura - Pico (hh:mm)	Velocidade Máxima Atingida na Seção (m/s)
ST-01	0,78	10,00	00:08	00:11	2,14
ST-02	2,83	9,70	00:14	00:18	1,50
ST-03	5,29	11,40	00:26	00:31	1,10
ST-04	7,74	14,30	00:47	01:05	0,13
ST-05	10,29	15,20	01:18	01:44	0,04
ST-06	12,45	4,00	02:00	02:27	0,90
ST-07*	14,74	2,30	02:41	03:05	0,18
ST-08*	16,87	2,18	02:56	03:35	0,10
ST-09*	19,54	1,90	04:09	04:48	0,50
ST-10*	24,94	2,90	08:13	09:57	0,50
ST-11*	28,95	3,30	11:22	13:02	0,40
ST-12*	31,72	3,00	17:42	18:04	0,20

(*) Quando o hidrograma de ruptura atinge o aterro da rodoferrovia é amortecido e as vazões a jusante são regularizadas.

¹Tabela redesenhada a partir da BVP Engenharia (2018c)

²Ver mapa em Fig. 16f.

Em relação aos quatro aspectos do Potencial Dano Associado (ver Tabela 9), para ambas as barragens de rejeitos TP1 e TP2, a MRN avaliou a “Existência de população a jusante” como “Existente”, o “Impacto Ambiental” como “Significativo”, e o “Impacto socioeconômico” como “Médio” (ver Tabelas A5 e B5). As regulamentações brasileiras (ANM, 2022) esclarecem que “Existente” significa “existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas” (ver Tabela 9). Visto que os reservatórios de TP1 e TP2 contêm, ambos, um volume de rejeitos na faixa de 5 a 25 milhões de metros cúbicos (ver Tabelas 2a, A5 e B5), as pontuações totais tanto para TP1 quanto para TP2 são DPA = 22 (ver Tabelas A5 e B5), situando TP1 e TP2 firmemente na faixa de DPA Alto (ver Tabelas 2b e 10b). Deve-se notar que todas as demais barragens de rejeitos, incluindo TP3, enquadram-se na classificação DPA Médio (ver Tabela 2b).

Não há documento disponível que explique como foi formulado o juízo de que, para TP1 e TP2, a “Existência de populações a jusante” é “Existente”, o “Impacto ambiental” é “Significativo” e o “Impacto socioeconômico” é “Médio”. Na ausência de outras informações, deve-se presumir que o fator determinante seja a chegada da onda de rejeitos à comunidade de Sapucaá, em particular, no que tange a uma população “Existente”. A seção “Respostas” considerará as análises de ruptura de barragem disponíveis para as barragens de rejeitos SP, bem como a classificação dessas barragens na faixa de DPA Médio.

Situação da Descaracterização

Esta subseção analisa a situação da descaracterização das barragens de rejeitos SP1, SP2_3, SP6 e SP9A, as quais são todas designadas como “em descaracterização” no site da ANM (2025) (ver Tabela 2a). Visto que tanto a SP2_3 quanto a SP6 estão listadas como barragens a montante com volumes de armazenamento inferiores a 12 milhões de metros cúbicos (ver Tabela 2a), de acordo com as regulamentações brasileiras sobre rejeitos (ANM, 2022), a descaracterização dessas barragens deveria ter sido concluída até 15 de setembro de 2022. No entanto, os relatórios do “projeto executivo” de descaracterização foram submetidos apenas em 31 de dezembro de 2022 para SP2_3 e em 31 de agosto de 2023 para SP6. Nenhum documento disponível explicou o atraso na descaracterização ou descreveu quaisquer consequências para a mineradora. Para as barragens de rejeitos SP9A e SP1, classificadas como barragens de etapa única sem exigências de descaracterização, os relatórios de projeto detalhado foram submetidos em 1º de julho de 2023 e 30 de setembro de 2022, respectivamente (ANM, 2025).

Para SP2_3, as obras de estabilização tiveram início em 30 de junho de 2023 e foram concluídas em 31 de dezembro de 2023. Os 24 meses de monitoramento exigidos foram programados para começar na mesma data da conclusão da estabilização, de modo que SP2_3 pudesse ser totalmente descaracterizado no momento atual. Os 24 meses de monitoramento exigidos para SP6 também estavam programados para ter início em 31 de dezembro de 2023, de modo que SP6 pudesse, igualmente, estar totalmente descaracterizado neste momento. Contudo, o site da ANM (2025) informa, ainda, que um período de 26 meses de obras de estabilização para o SP6 teve início em 3 de novembro de 2021, ou seja, quase dois anos antes da submissão do projeto executivo de estabilização. Não está, de forma alguma, claro como resolver a contradição supracitada. Para SP9A, as obras de estabilização, com duração prevista de 30 meses, tiveram início em 31 de julho de 2023, sem informações sobre quando estava programado o início do monitoramento. Para SP1, a ANM (2025) indicou o início projetado de obras de estabilização com duração de 12 meses, a partir de maio de 2024. Em resumo, a SP2_3 pode estar totalmente descaracterizada (embora isso não tenha sido verificado), ao passo que as outras três barragens de rejeitos, muito provavelmente, ainda se encontram em alguma fase do processo de descaracterização.

É importante observar que os rejeitos não foram removidos de trás das barragens em nenhum dos casos de barragens de rejeitos listadas como “em descaracterização”. Em cada caso, a “solução” é descrita como “estrutura remanescente”. A descrição mais detalhada da solução é fornecida para SP2_3, que afirma: “De acordo com o projeto executivo, as obras consistem na conformação da estrutura existente para revegetação da superfície do reservatório, implantação de dispositivos de drenagem superficial de descaracterização e fechamento (micro e macrodrenagem) para condução do fluxo da drenagem pluvial incidente e monitoramento e acompanhamento de indicadores”.

PERGUNTAS

Com base nas seções anteriores, o objetivo deste relatório pode ser subdividido nas seguintes perguntas relativas às barragens de rejeitos da mina MRN:

- 1) As barragens de rejeitos foram construídas de acordo com os padrões da indústria?
- 2) As barragens de rejeitos foram classificadas corretamente em termos do método de construção?

- 3) As faixas de classificação para a Categoria de Risco foram indicadas corretamente?
- 4) Os resultados das análises computacionais de ruptura da barragem são consistentes com as falhas anteriores de barragens de rejeitos?
- 5) As faixas de classificação para o Dano Potencial Associado foram indicadas corretamente?
- 6) As barragens de rejeitos possuem Planos de Ação de Emergência adequados?

A metodologia para responder a cada pergunta é discutida na subseção correspondente da seção “Respostas”.

RESPOSTAS

1: Barragens de Rejeitos não são Construídas de acordo com os Padrões da Indústria

Em comparação com os padrões da indústria, todas as barragens de rejeitos da mina MRN são excessivamente íngremes. Com relação a todas as barragens de rejeitos da mina MRN, DAM (2020b) escreveu: “Em geral, os taludes de jusante e montante apresentam inclinação de 1V:1,5H” (34° em relação à horizontal) (ver seção transversal de amostra da barragem de rejeitos SP9 em Fig. 17). A citação anterior é ainda mais alarmante do que a informação constante no site da ANM de que 24 das barragens de rejeitos possuem taludes mais inclinados do que 1V:2H (comparar Tabelas 2a e 6a). Embora um talude mais inclinado do que 1V:2H não seja proibido no Brasil, ele é listado como a opção mais perigosa (ver Tabela 6a).

De fato, o talude externo da barragem de rejeitos de Brumadinho, que falhou em 2019, resultando em 272 mortes, tinha uma inclinação de 1V:2H, considerada a principal causa da falha. Segundo o painel de especialistas que investigou a falha: “O projeto inicial da barragem estabeleceu uma inclinação relativamente íngreme ... Em um talude, as tensões de cisalhamento que conduzem à uma potencial instabilidade também se devem ao peso dos solos acima. Quanto mais íngreme o talude e quanto mais pesados os solos dentro do talude, maior a tensão de cisalhamento ... Os taludes a montante e a jusante das bermas construídas em cada alteamento variaram de 1,5 na horizontal a 1 na vertical (1,5H:1V) a 2,5H:1V; no entanto, inclinações de 2H:1V foram usadas na maioria dos casos ... O histórico a seguir criou as condições de instabilidade na Barragem I: • Um projeto que resultou em um talude íngreme construído a montante” (Robertson et al., 2019).

Para fins de comparação com as inclinações das barragens de rejeitos da mina MRN, a gama de normas industriais e regulatórias referentes às inclinações dos aterros externos de barragens de rejeitos foi revisada na seção “Tutorial”. Essas normas estão brevemente listadas abaixo, começando pela mais conservadora:

- 1) Para todas as barragens e diques de terra, o Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA recomenda uma inclinação máxima de 1V:5H (11° em relação à horizontal) para evitar a erosão interna (USACE, 2000).
- 2) Para todas as barragens de rejeitos, A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração exige uma inclinação máxima de 1V:5H (Morrill et al., 2022).
- 3) O antigo padrão da indústria de mineração para barragens a montante estabelecia uma inclinação máxima de 1V:4H (14° em relação à horizontal) (Martin et al., 2002). Trata-se de um padrão antigo, pois a indústria de mineração atualmente denuncia o uso do método de construção a montante (Darling, 2023; Turek, 2023).

- 4) O livro-texto *Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities* [Engenharia Geotécnica de Instalações de Armazenamento de Resíduos de Mineração] recomenda uma inclinação máxima de 1V:3H (18° em relação à horizontal) como um compromisso entre a necessidade de prevenir o colapso e a necessidade de armazenar o volume máximo de rejeitos (Blight, 2010).
- 5) A Comissão Europeia recomenda uma inclinação máxima de 1V:3H, tanto para barragens de rejeitos a montante quanto para todas as barragens de rejeitos em geral (Garbarino et al., 2018).
- 6) O Ministry of Energy, Mines and Low Carbon Innovation (British Columbia) [Ministério de Energia, Minas e Inovação de Baixo Carbono (Colúmbia Britânica)] (2024) exige uma inclinação máxima de 1V:2H (26,5° em relação à horizontal) para barragens de rejeitos.
- 7) Uma inclinação 1V:1H (45° em relação à horizontal) é reconhecida como a inclinação máxima teórica para prevenir a falha por erosão interna (Holtz et al., 2011).

Em resumo, a inclinação típica de 1V:1,5H (34° em relação à horizontal) utilizada nos taludes externos das barragens de rejeitos da mina MRN está muito fora dos padrões da indústria.

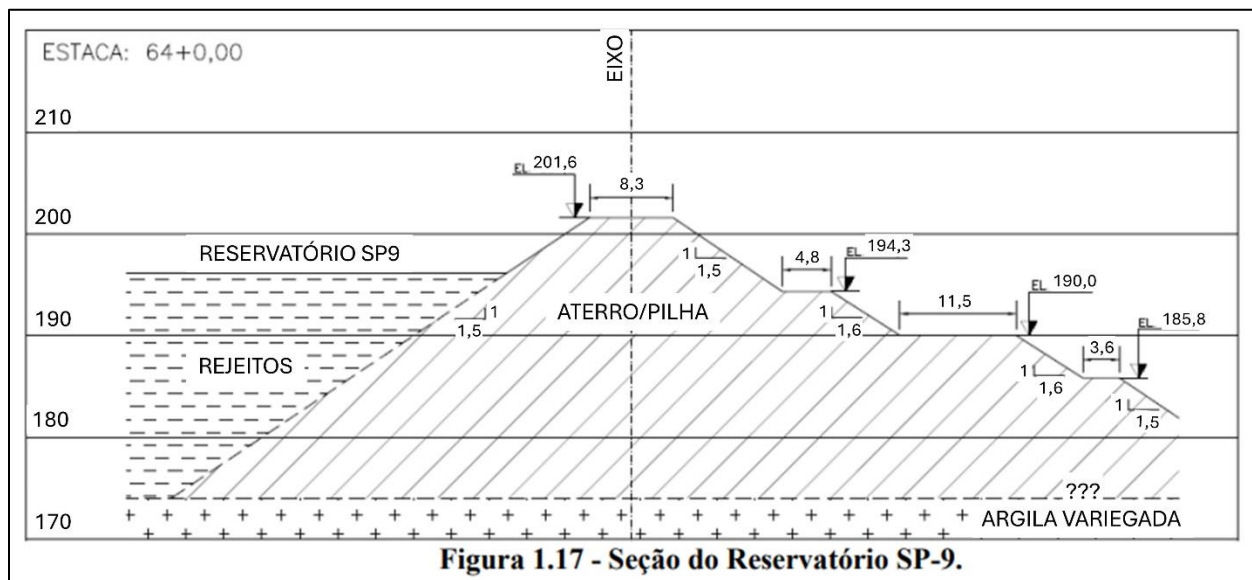


Figura 1.17 - Seção do Reservatório SP-9.

Figura 17. Em comparação com os padrões da indústria, todas as barragens de rejeitos da mina MRN apresentam inclinação excessiva. Em relação a todas as barragens de rejeitos da mina MRN, a DAM (2020b) escreveu, “Em geral, os taludes de jusante e montante apresentam inclinação de 1V:1,5H”. A seção transversal acima mostra um exemplo da barragem de rejeitos SP-9. Em contraste, para barragens de terra, o Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (2000) exige inclinações não superiores a 1V:5H. Para barragens de rejeitos, a Comissão Europeia exige inclinações não superiores a 1V:3H (Garbarino et al., 2018), o que é corroborado por um livro-texto padrão sobre barragens de rejeitos (Blight, 2010). Embora o Brasil não possua regulamentação sobre inclinações máximas, uma inclinação superior a 1V:2H corresponde à pontuação mais alta (maior probabilidade de falha) em termos da Categoria de Risco (ver Tabela 6a). Figura da DAM (2020b) com sobreposição de etiquetas maiores

2: Muitas Barragens de Rejeitos são Barragens a Montante na Verdade

Embora o atual site da ANM liste apenas duas barragens de rejeitos (SP2_3 e SP6) como tendo sido construídas pelo método a montante (ver Tabela 2a), um relatório de consultoria de 2021, elaborado para a Mineração Rio do Norte, indicou que o método a montante era o método genérico para todas as barragens de rejeitos na mina MRN. De acordo com a Pimenta de Ávila

Consultoria (2021), “Conforme apresentado no documento QD5-JPA-26-24-109-AT, a Pimenta de Ávila entende que uma barragem pode ser considerada, do ponto de vista estrutural, como alteada por linha de centro, mesmo se em alguma etapa de alteamento o eixo tiver sido deslocado para montante, desde que a porção da mesma, apoiada somente em aterro compactado ou fundação competente, independente da resistência dos rejeitos, seja suficiente para garantir a estabilidade do maciço”.

Fig. 18a mostra claramente material de construção da barragem depositado sobre rejeitos não compactados, o que constitui a característica essencial do método de construção a montante (comparar com Fig. 5a). Assim, os consultores argumentam, essencialmente, que as barragens a montante são, na verdade, barragens de linha de centro, o que não possui respaldo nas regulamentações brasileiras nem nos padrões da indústria, mas que poderia explicar por que oito barragens a montante foram reclassificadas como barragens de linha de centro, embora duas tenham sido posteriormente reclassificadas como barragens a montante (ver Tabela 3). Com base no exposto, deve-se presumir que todas as sete barragens de rejeitos listadas como barragens de linha de centro (ver Tabela 2a) sejam, na verdade, barragens a montante. A Pimenta de Ávila Consultoria (2021) continua, “Este conceito é também defendido pelo consultor internacional Andrew Robertson (Robertson Geoconsultants)”. Em outras palavras, a Pimenta de Ávila Consultoria (2021) defende a reclassificação de barragens a montante não com base em quaisquer regulamentações brasileiras ou normas do setor, mas unicamente com base em um único indivíduo, e nem sequer em qualquer publicação desse indivíduo.

A Pimenta de Ávila Consultoria (2021) continua, “A Figura 8 ilustra a delimitação entre a porção do maciço estruturalmente independente dos rejeitos (à direita do eixo em vermelho) da porção estruturalmente dependente dos rejeitos (à esquerda do eixo em vermelho), para o caso típico da MRN. Esta é, portanto, uma situação diferente do conceito clássico de alteamento por montante, onde os aterros de alteamentos estão completamente apoiados no rejeito e, logo, a estabilidade da estrutura é totalmente dependente da resistência do rejeito. Para a comprovação de que a condição de estabilidade das estruturas da MRN é independente da resistência do rejeito e dos materiais sobrejacentes ao mesmo, foram realizadas análises de estabilidade, desconsiderando-se a resistência do rejeito e dos materiais nele apoiados (aterro submerso e parte do aterro de alteamento). Os fatores de segurança obtidos são satisfatórios ($FS > 1,5$), indicando que a segurança das estruturas não é dependente da resistência dos rejeitos”. A expressão “o caso típico da MRN” confirma ainda que a barragem de rejeitos genérica na mina MRN foi alteada utilizando o método a montante (comparar Figs. 18a-b com Figs. 5a). O restante da citação afirma, essencialmente, que as barragens de rejeitos não são, de fato, barragens a montante, uma vez que possuem um fator de segurança aceitável, uma exceção que não encontra respaldo nem nas regulamentações brasileiras nem nos padrões da indústria. Assim como em Fig. 18a, a seção transversal em Fig. 18b mostra claramente material de construção da barragem sobre rejeitos não compactados, indicando que a barragem de rejeitos foi alteada utilizando o método a montante (comparar com Fig. 5a).

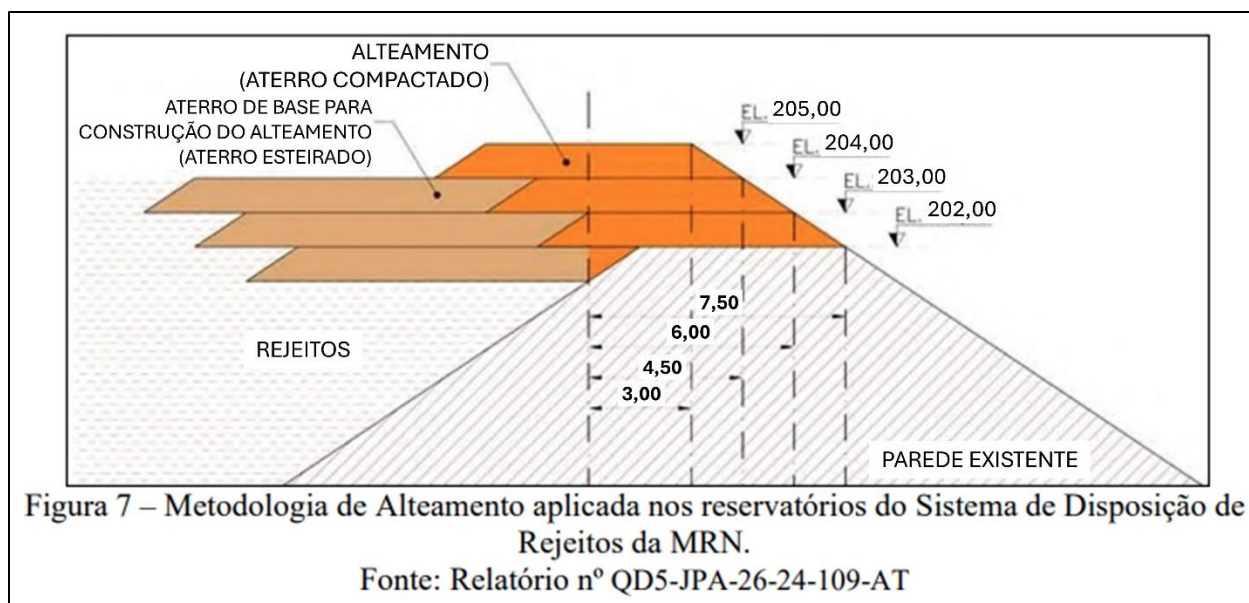


Figura 18a. Um relatório de consultoria para a Mineração Rio do Norte demonstra claramente que a barragem de rejeitos genérica na mina MRN foi alteada utilizando o método a montante, uma vez que o material de construção da barragem foi depositado sobre rejeitos não compactados (comparar com Fig. 5a). De acordo com a Pimenta de Ávila Consultoria (2021), “Conforme apresentado no documento QD5-JPA-26-24-109-AT, a Pimenta de Ávila entende que uma barragem pode ser considerada, do ponto de vista estrutural, como alteada por linha de centro, mesmo se em alguma etapa de alteamento o eixo tiver sido deslocado para montante, desde que a porção da mesma, apoiada somente em aterro compactado ou fundação competente, independente da resistência dos rejeitos, seja suficiente para garantir a estabilidade do maciço”. Assim, os consultores estão essencialmente argumentando que as barragens a montante são, na verdade, barragens de linha central, o que não tem base na regulamentação brasileira nem nos padrões da indústria, mas que poderia explicar por que oito barragens a montante foram reclassificadas como barragens de linha central, embora duas tenham sido posteriormente reclassificadas como barragens a montante (ver Tabela 3). Com base no exposto acima, deve-se presumir que todas as sete barragens de rejeitos listadas como barragens de linha central (ver Tabela 2a) são, na verdade, barragens a montante. Pimenta de Ávila Consultoria (2021) continua, “Este conceito é também defendido pelo consultor internacional Andrew Robertson (Robertson Geoconsultants)”. Assim, a Pimenta de Ávila Consultoria (2021) defende a reclassificação das barragens a montante não com base em quaisquer regulamentações brasileiras ou normas do setor, mas apenas com base na opinião de um único indivíduo, e nem mesmo em qualquer publicação desse indivíduo. Figura da Pimenta de Ávila Consultoria (2021) com sobreposição de etiquetas maiores.

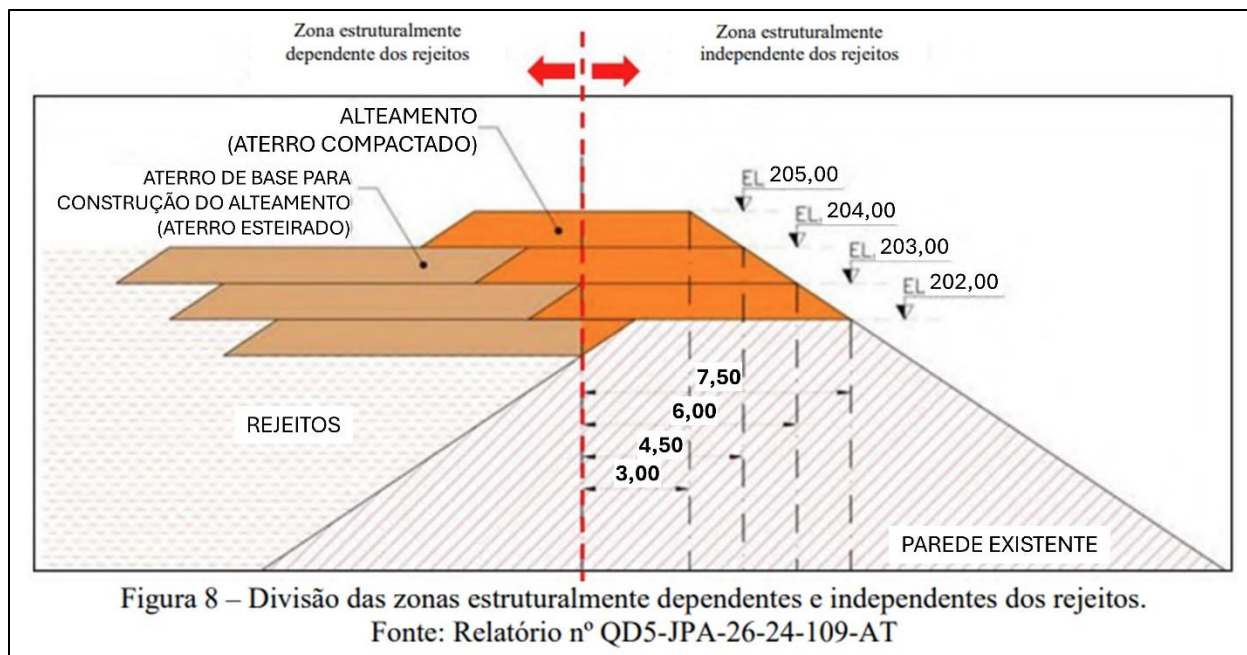


Figura 18b. De acordo com a Pimenta de Ávila Consultoria (2021), “A Figura 8 ilustra a delimitação entre a porção do maciço estruturalmente independente dos rejeitos (à direita do eixo em vermelho) da porção estruturalmente dependente dos rejeitos (à esquerda do eixo em vermelho), para o caso típico da MRN. Esta é, portanto, uma situação diferente do conceito clássico de alteamento por montante, onde os aterros de alteamentos estão completamente apoiados no rejeito e, logo, a estabilidade da estrutura é totalmente dependente da resistência do rejeito. Para a comprovação de que a condição de estabilidade das estruturas da MRN é independente da resistência do rejeito e dos materiais sobrejacentes ao mesmo, foram realizadas análises de estabilidade, desconsiderando-se a resistência do rejeito e dos materiais nele apoiados (aterro submerso e parte do aterro de alteamento). Os fatores de segurança obtidos são satisfatórios ($FS > 1,5$), indicando que a segurança das estruturas não é dependente da resistência dos rejeitos”. A expressão “o caso típico da MRN” confirma ainda mais que a barragem de rejeitos genérica na mina MRN foi construída utilizando o método a montante (comparar com as Figs. 5a e 18a). O restante da citação afirma, essencialmente, que as barragens de rejeitos não são realmente barragens a montante, uma vez que apresentam um fator de segurança aceitável, uma exceção que não tem base nas regulamentações brasileiras ou nos padrões da indústria. A seção transversal acima mostra claramente o material de construção da barragem sobre os rejeitos não compactados, indicando que a barragem de rejeitos foi alteada utilizando o método a montante (comparar com Fig. 5a). Figura da Pimenta de Ávila Consultoria (2021) com sobreposição de etiquetas maiores.

Seções transversais não estão disponíveis para todas as barragens de rejeitos da mina MRN, mas estão disponíveis para SP2_3, SP4 Norte, SP5 Leste e SP5 Oeste. A seção transversal da barragem de rejeitos SP2_3 (ver Fig. 19a) mostra claramente a deposição do material de construção da barragem sobre rejeitos não compactados, indicando que a SP2_3 foi alteada utilizando o método a montante. Assim, a barragem de rejeitos SP2_3 foi corretamente classificada como uma barragem a montante (ver Tabela 2a). Em contrapartida, as seções transversais de SP4 Norte, SP5 Leste e SP5 Oeste mostram claramente a deposição de material de construção da barragem sobre rejeitos não compactados, indicando que as três barragens de rejeitos foram alteadas utilizando o método a montante (comparar Figs. 19b-d com Fig. 5a). Assim, as barragens de rejeitos SP4 Norte, SP5 Leste e SP5 Oeste foram todas classificadas incorretamente como barragens de linha de centro (ver Tabela 2a). A seção transversal de SP9 (ver Fig. 17), bem como as seções transversais de SP1, SP8, SP10, SP11 e SP16 (ver Figs. 20a-e), demonstram que as barragens não foram alteadas, tendo sido, portanto, todas classificadas corretamente como barragens de etapa única (ver Tabela 2a). Deve-se notar também os taludes

excessivamente íngremes de todas as dez barragens de rejeitos com seções transversais disponíveis (SP2_3, SP4 Norte, SP5 Leste, SP5 Oeste, SP9, SP1, SP8, SP10, SP11, SP16) (ver Figs. 17, 19a-d, 20a-e). Não há seções transversais disponíveis ao autor para as outras 20 barragens de rejeitos.

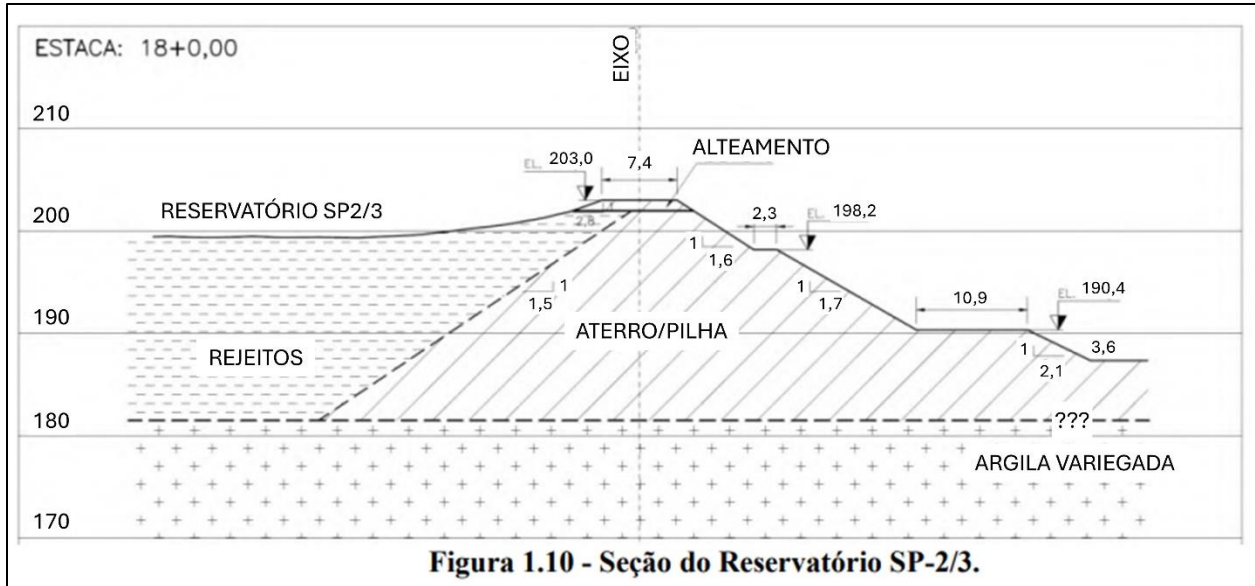


Figura 19a. A seção transversal da barragem de rejeitos SP2_3 mostra claramente a colocação do material de construção da barragem sobre os rejeitos não compactados, indicando que a barragem SP2_3 foi alteada utilizando o método a montante (comparar com Figs. 5a e 18a-b). Assim, a barragem de rejeitos SP2_3 foi corretamente classificada como uma barragem de montante (ver Tabela 2a). É importante notar também os taludes excessivamente íngremes (comparar com Fig. 17). Figura da DAM (2020c) com sobreposição de etiquetas maiores.

Pode-se agora considerar quantas barragens de rejeitos na mina MRN são, muito provavelmente, barragens a montante. Duas barragens de rejeitos (SP2_3 e SP6) estão listadas como barragens a montante no site da ANM (ver Tabela 2a). Outras três barragens de rejeitos (SP4 Norte, SP5 Leste, SP5 Oeste) são barragens a montante, com base nas seções transversais (ver Figs. 19b-d). A suposição plausível de que todas as sete barragens de rejeitos listadas como barragens de linha de centro (ver Tabela 2a) sejam, na verdade, barragens a montante, abrange mais quatro barragens de rejeitos (SP4 Sul, SP7A, SP7B, SP7C), totalizando, até o momento, nove barragens a montante.

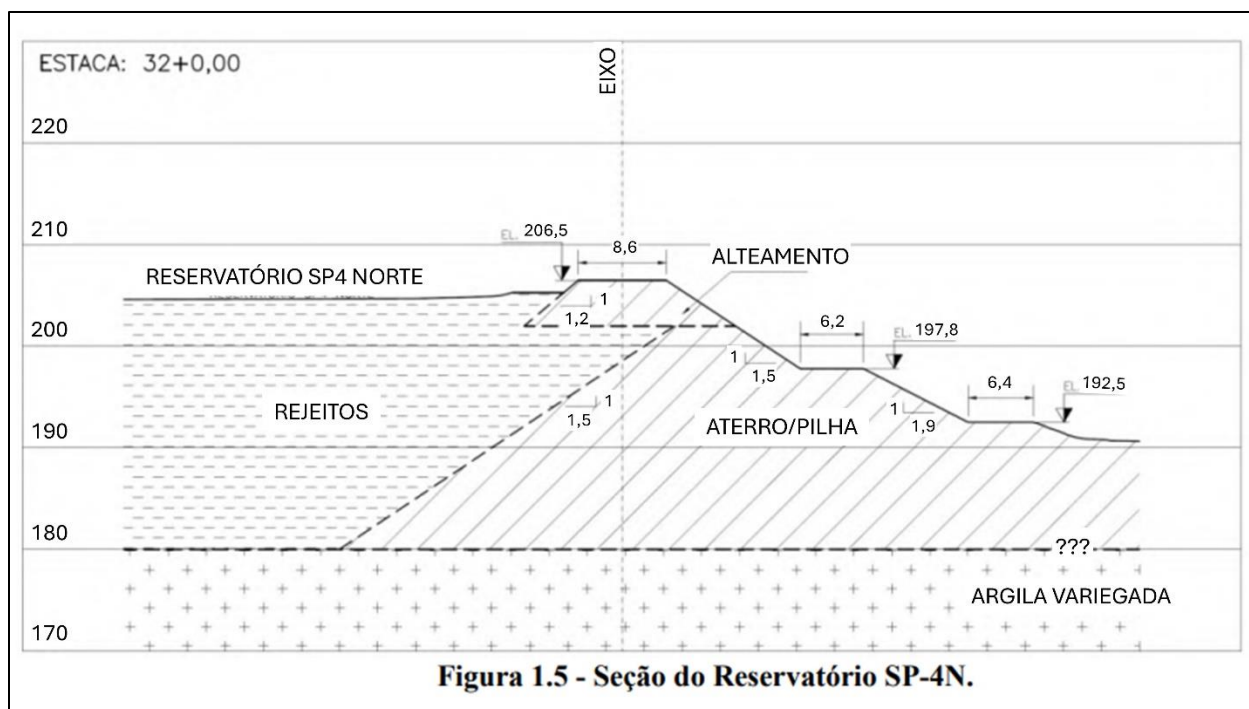


Figura 19b. A seção transversal da barragem de rejeitos SP4 Norte mostra claramente a colocação do material de construção da barragem sobre os rejeitos não compactados, indicando que a barragem SP4 Norte foi alteada utilizando o método a montante (comparar com Figs. 5a e 18a-b). Assim, a barragem de rejeitos SP4 Norte foi classificada incorretamente como uma barragem de linha central (ver Tabela 2a). É importante notar também os taludes excessivamente íngremes (comparar com Fig. 17). Figura da Pimenta de Ávila Consultoria (2020b) com sobreposição de etiquetas maiores.

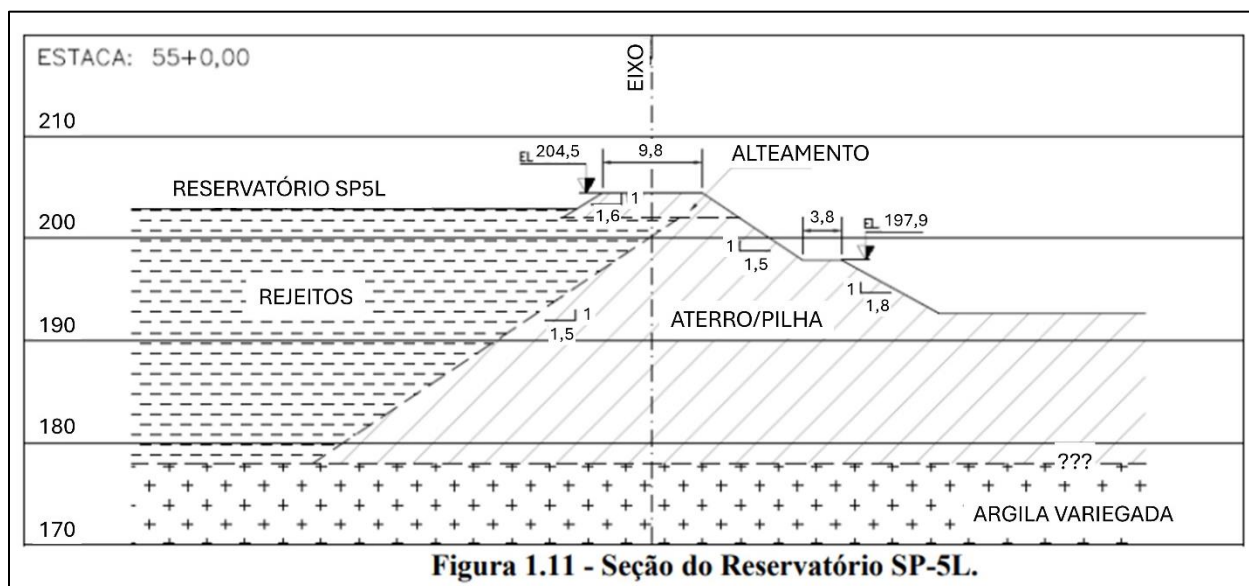


Figura 19c. A seção transversal da barragem de rejeitos SP5 Leste mostra claramente a colocação do material de construção da barragem sobre os rejeitos não compactados, indicando que a barragem SP5 Leste foi alteada utilizando o método a montante (comparar com Figs. 5a e 18a-b). Assim, a barragem de rejeitos SP5 Leste foi classificada incorretamente como uma barragem de linha central (ver Tabela 2a). É importante notar também os taludes excessivamente íngremes (comparar com Fig. 17). Figura da Pimenta de Ávila Consultoria (2020b) com sobreposição de etiquetas maiores.

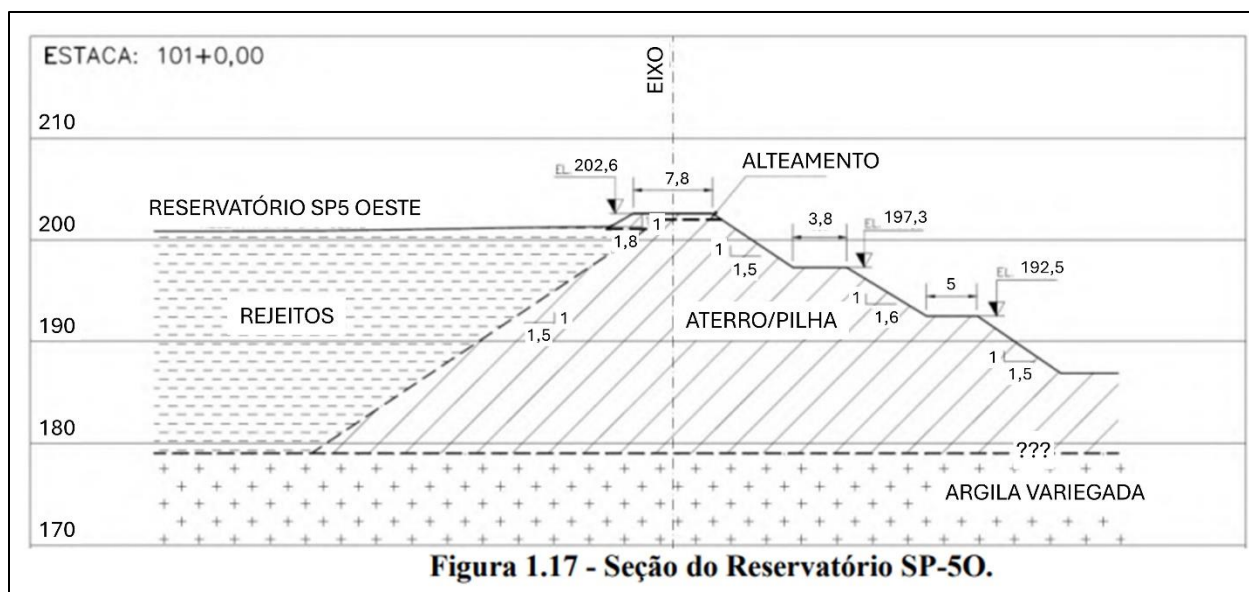


Figura 19d. A seção transversal da barragem de rejeitos SP5 Oeste mostra claramente a colocação do material de construção da barragem sobre os rejeitos não compactados, indicando que a barragem SP5 Oeste foi alteada utilizando o método a montante (comparar com Figs. 5a e 18a-b). Assim, a barragem de rejeitos SP5 Oeste foi classificada incorretamente como uma barragem de linha central (ver Tabela 2a). É importante notar também os taludes excessivamente íngremes (comparar com Fig. 17). Figura da Pimenta de Ávila Consultoria (2020b) com sobreposição de etiquetas maiores.

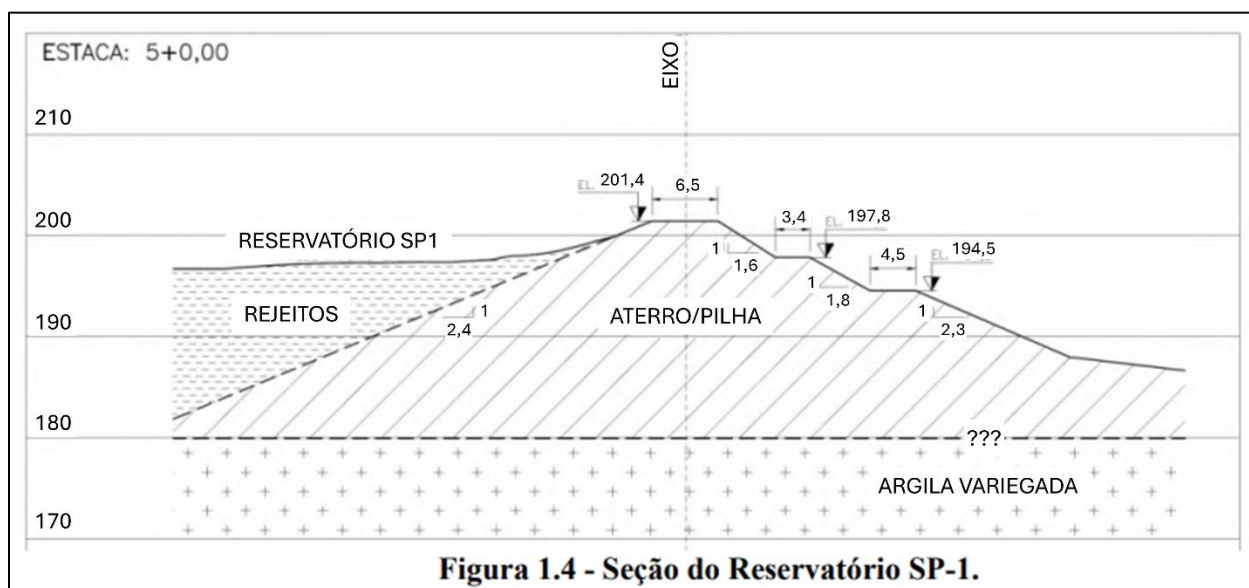


Figura 20a. A seção transversal da barragem de rejeitos SP1 mostra que a barragem não foi alteada, o que confirma sua classificação correta como barragem de etapa única (ver Tabela 2a). No entanto, é importante notar também os taludes excessivamente íngremes (comparar com Fig. 17). Figura da DAM (2020b) com sobreposição de etiquetas maiores.

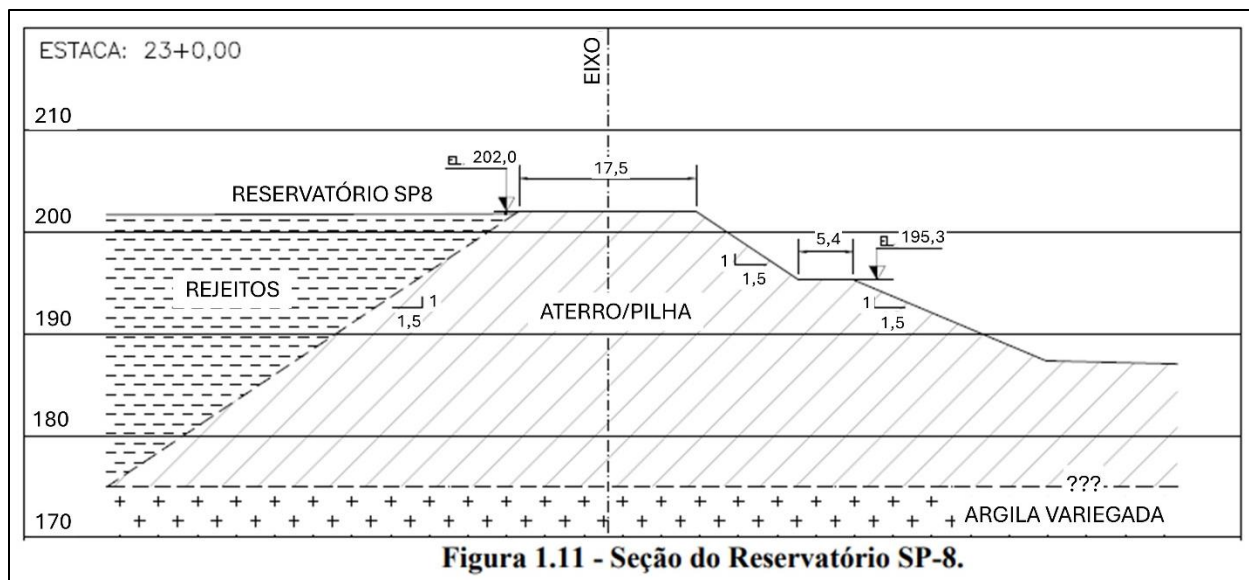


Figura 20b. A seção transversal da barragem de rejeitos SP8 mostra que a barragem não foi alteada, o que confirma sua classificação correta como barragem de etapa única (ver Tabela 2a). No entanto, é importante notar também os taludes excessivamente íngremes (comparar com Fig. 17). Figura da Pimenta de Ávila Consultoria (2020b) com sobreposição de etiquetas maiores.

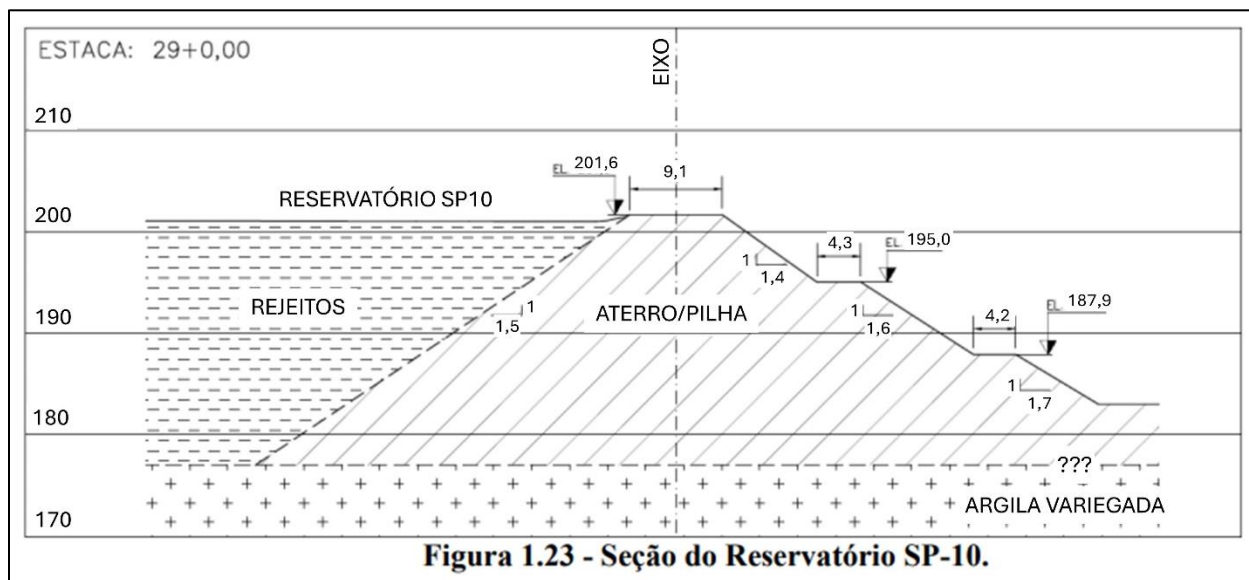


Figura 20c. A seção transversal da barragem de rejeitos SP10 mostra que a barragem não foi alteada, o que confirma sua classificação correta como barragem de etapa única (ver Tabela 2a). No entanto, é importante notar também os taludes excessivamente íngremes (comparar com Fig. 17). Figura da Pimenta de Ávila Consultoria (2020b) com sobreposição de etiquetas maiores.

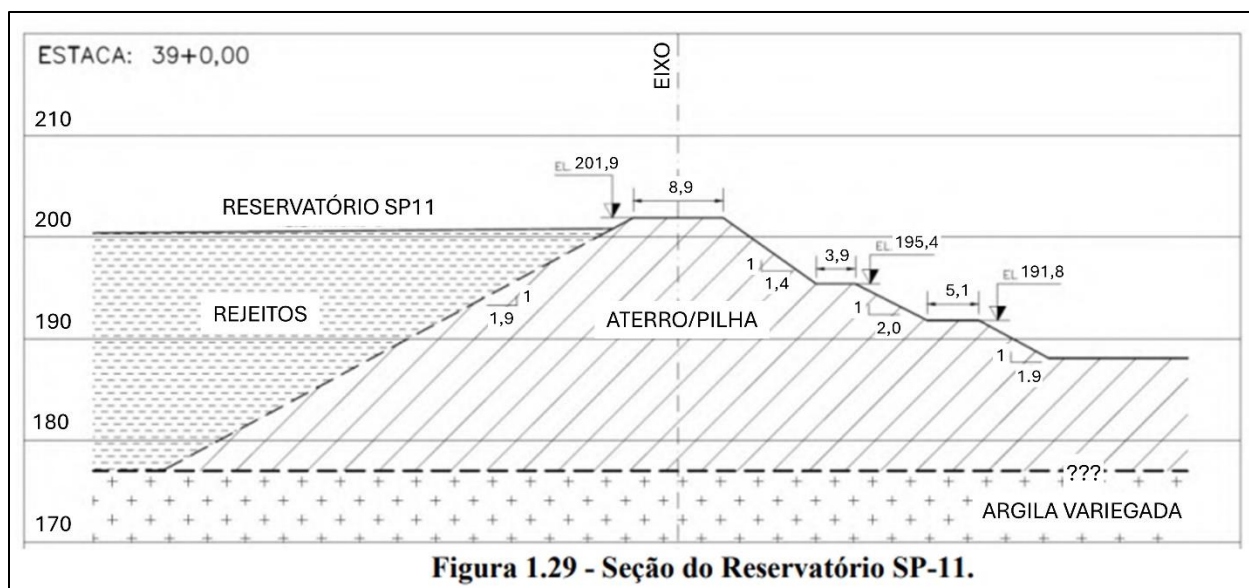


Figura 20d. A seção transversal da barragem de rejeitos SP11 mostra que a barragem não foi alteada, o que confirma sua classificação correta como barragem de etapa única (ver Tabela 2a). No entanto, é importante notar também os taludes excessivamente íngremes (comparar com Fig. 17). Figura da Pimenta de Ávila Consultoria (2020b) com sobreposição de etiquetas maiores.

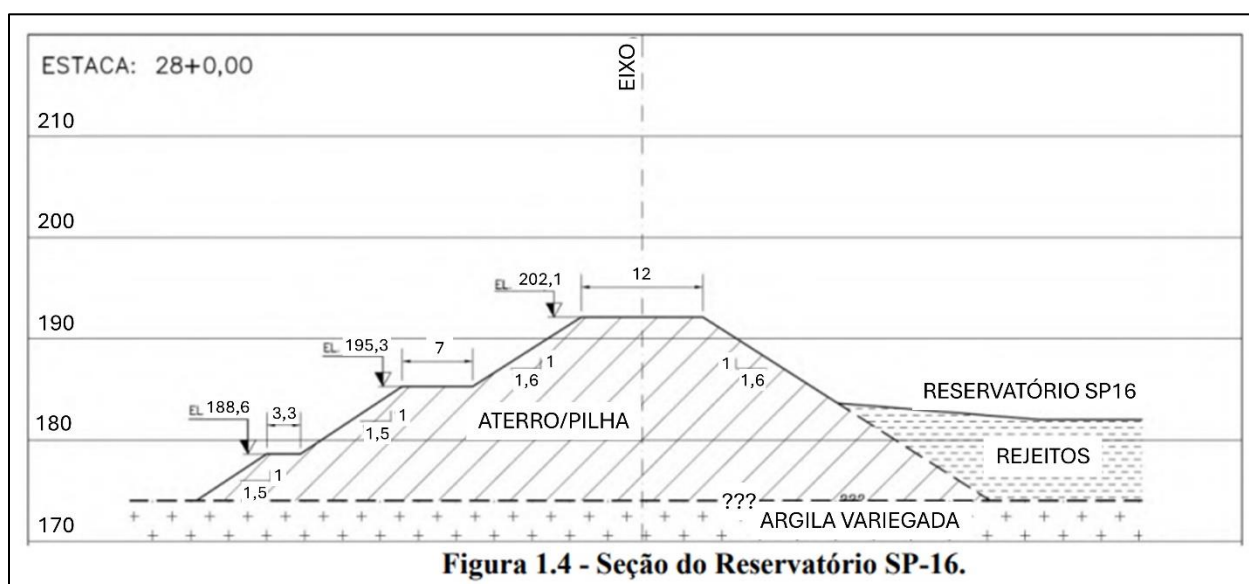


Figura 20e. A seção transversal da barragem de rejeitos SP16 mostra que a barragem não foi alteada, o que confirma sua classificação correta como barragem de etapa única (ver Tabela 2a). No entanto, é importante notar também os taludes excessivamente íngremes (comparar com Fig. 17). Figura da DAM (2020a) com sobreposição de etiquetas maiores.

A última categoria de potenciais barragens a montante é a lista de 10 barragens de rejeitos adicionais (TP1, TP2, SP8, SP9, SP9A, SP12, SP13, SP14, SP15, SP16) que já foram listadas como barragens a montante, mas para as quais o método construtivo registrado foi alterado para etapa única (ver Tabela 3). Deve ficar claro que não há sentido lógico no qual uma barragem a montante possa ser convertida em uma barragem de etapa única na realidade (em oposição à descrição), uma vez que uma barragem a montante possui os alteamentos construídos sobre

rejeitos não compactados, ao passo que uma barragem de etapa única não possui alteamentos (ver Fig. 5a). Além disso, é difícil conciliar as alterações no método construtivo declarado no site da ANM em julho de 2019 (ver Tabela 3) com as declarações atuais de que a empresa mineradora detém tanto a documentação original do projeto executivo quanto a documentação original do tipo “como construída” (a qual deveria descrever e explicar quaisquer alterações entre o projeto executivo original e o que foi efetivamente construído). A combinação supracitada aplica-se especialmente a TP2, SP9A, SP14 e SP15 (ver Apêndices B4, P4, U4 e V4), que estão em operação desde janeiro de 2002, junho de 2007, janeiro de 2012 e fevereiro de 2014, respectivamente (ANM, 2025).

É teoricamente possível que a descrição do método construtivo tenha sido alterada de a montante para etapa única, pois, embora a intenção original fosse construir os alteamentos utilizando o método a montante, nenhum alteamento chegou a ser construído; assim, o dique inicial foi simplesmente renomeado como uma barragem de etapa única. A explicação precedente é altamente improvável, pelas seguintes razões:

- 1) Um exemplo de barragem de rejeitos cujo método de construção foi alterado de a montante para etapa única é TP1 (ver Tabela 3), a qual está em operação desde 1º de junho de 1989, um período muito longo para a operação de uma barragem de rejeitos sem quaisquer alteamentos.
- 2) A Pimenta de Ávila Consultoria (2021) descreve o método de construção a montante como o método construtivo genérico na mina MRN (ver Figs. 18a-b).
- 3) Antes de qualquer alteamento ter sido construído, qualquer barragem de rejeitos deveria ter sido classificada como uma barragem de etapa única.

As barragens de rejeitos SP9 e SP16 parecem, de fato, ser barragens de etapa única, com base nas seções transversais disponíveis (ver Figs. 17 e 20e); contudo, deve-se observar que tais seções transversais não foram elaboradas a partir da documentação de projeto original nem da documentação “como construída”, mas sim da documentação “como está” (projetos reconstruídos com base nas condições atuais) (ver Apêndices O4 e W4). Em resumo, com base nas seções transversais disponíveis e nas alterações nas informações constantes no site da ANM, é altamente provável que pelo menos 17 das barragens de rejeitos da mina MRN (SP2_3, SP6, SP4 Norte, SP5 Leste, SP5 Oeste, SP4 Sul, SP7A, SP7B, SP7C, TP1, TP2, SP8, SP9A, SP12, SP13, SP14, SP15) tenham sido construídas utilizando o método a montante, incluindo 13 que ainda estão recebendo rejeitos ativamente (todas, exceto SP2_3, SP4 Sul, SP6 e SP9A) (comparar Tabelas 2a e 12).

3: As Categorias de Risco foram Rebaixadas Incorretamente

Há dois aspectos das Características Técnicas (ver Tabela 6a-b) que sugerem que as Categorias de Risco para as barragens de rejeitos da mina MRN foram avaliadas incorretamente (ver Tabela 2b). O primeiro aspecto é o método de construção, que foi discutido na subseção anterior. Para as sete barragens de linha de centro (todas as quais foram argumentadas como sendo, na verdade, barragens a montante), todas as pontuações da Categoria de Risco (CRI) devem ser acrescidas de cinco pontos (ver Tabelas 2b e 6b). Para as oito barragens de etapa única que foram argumentadas como sendo, na verdade, barragens a montante, todas as pontuações da Categoria de Risco (CRI) devem ser acrescidas de dez pontos (ver Tabelas 2b e 6b). Com base unicamente na alteração do método de construção, a única mudança na Categoria de Risco total

refere-se à SP8, cuja Categoria de Risco passa de Baixo (CRI = 33) para Médio (CRI = 43) (ver Tabelas 2b e 10a).

O segundo aspecto é a vazão do projeto, para a qual todas as barragens de rejeitos da mina MRN receberam uma pontuação de zero, correspondendo ao dimensionamento para a Cheia Máxima Provável (CMP) ou para a cheia com um período de retorno de 10.000 anos (probabilidade anual de excedência de 0,01%) (ver Tabela 6a). *Bulletin 194 Tailings Dam Safety* [Boletim 194 Segurança de Barragens de Rejeitos] da International Commission on Large Dams [Comissão Internacional de Grandes Barragens] (ICOLD) define a Precipitação Máxima Provável (PMP) como “*The greatest depth of precipitation for a given duration, meteorologically possible for a given size storm area at a particular time of year, with no allowance made for long-term climatic trends*” [A maior profundidade de precipitação para uma dada duração, meteorologicamente possível para uma determinada área de tempestade e em uma época específica do ano, sem considerar tendências climáticas de longo prazo], e então define a Cheia Máxima Provável (CMP) como “*The largest flood that could conceivably occur. Usually estimated from probable maximum precipitation, and where applicable, snow melt, coupled with the worst flood-producing catchment conditions*” [A maior cheia que poderia conceivelmente ocorrer. Geralmente estimada a partir da precipitação máxima provável e, quando aplicável, do derretimento de neve, combinados com as piores condições de bacia hidrográfica propícias à geração de cheias] (ICOLD, 2022). De acordo com o Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, “*the PMF does not incorporate a specific exceedance probability, but is generally thought to be well beyond the 10,000 year recurrence interval*” [A CMP não incorpora uma probabilidade específica de excedência, mas é geralmente considerada como situando-se muito além do intervalo de recorrência de 10.000 anos] (USACE-HCE, 2003).

A vazão do projeto é a maior vazão que uma barragem deve ser capaz de suportar sem falhas, geralmente expressa como uma vazão ou como o período de retorno correspondente a uma determinada vazão. A única definição dessa expressão nas regulamentações brasileiras encontra-se nas normas mais recentes de segurança de barragens. De acordo com o Diário Oficial da União (2024), a “vazão de projeto” é a “vazão utilizada para o dimensionamento das estruturas da barragem, definida em função do tempo de retorno estabelecido em projeto ou em documento técnico mais atual”. Embora a definição precedente seja tecnicamente correta, ela poderia ser mais informativa no que diz respeito ao motivo da existência do conceito de vazão do projeto ou à forma como a vazão do projeto é selecionada.

Outras definições presentes em documentos de orientação sobre a segurança de barragens de rejeitos estão, de modo geral, em conformidade com a definição de “vazão do projeto” apresentada neste relatório. De acordo com a ICOLD (2022), “*The IDF [Inflow Design Flood] is the flood used for design of the TSF and its appurtenant works, particularly for sizing the spillway and outlet works and for determining extreme flood storage and freeboard requirements. The tailings facility must be capable of withstanding the flood conditions, accepting some damage and a temporary reduction in factors of safety, but without causing failure of the dam ... The inflow design flood (IDF) is the most severe inflow flood (peak, volume, shape, duration, timing) for which the tailings dam and associated facilities (spillway) are designed to protect the dam from overtoppings*” [A vazão do projeto de entrada (IDF) é a vazão utilizada para o projeto da barragem de rejeitos e suas obras acessórias, particularmente para o dimensionamento do vertedouro e das obras de descarga, bem como para a determinação dos requisitos de armazenamento e de borda livre em cheias extremas. A barragem de rejeitos deve ser capaz de suportar as condições de cheia, aceitando alguns danos e uma redução

temporária nos fatores de segurança, mas sem causar o colapso da estrutura ... A vazão do projeto de entrada (IDF) é a vazão de entrada mais severa (pico, volume, forma, duração e momento de ocorrência) para a qual a barragem de rejeitos e as instalações associadas (vertedouro) são projetadas, a fim de proteger a barragem contra o galgamento]. De acordo com a Tailings Dam Safety Best Practices [Melhores Práticas de Segurança em Barragens de Rejeitos] da FEMA (Federal Emergency Management Agency [Agência Federal de Gestão de Emergências (EUA)]) “*The TSF should be designed to withstand the Inflow Design Flood (IDF), as described in the next section, without resulting in failure of the dam or otherwise causing an uncontrolled release of tailings and/or process water into the downstream environment ... The IDF is the most severe inflow flood for which the TSF and the emergency spillway, in particular, are designed to protect the dam from overtoppings*” [A TSF [Instalação de Armazenamento de Rejeitos] deve ser projetada para suportar a Vazão do Projeto de Entrada (IDF), conforme descrito na próxima seção, sem resultar na falha da barragem ou, de outra forma, causar uma liberação descontrolada de rejeitos e/ou águas de processo para o ambiente a jusante ... A IDF é a vazão de entrada mais severa para a qual a TSF e, em particular, o vertedouro de emergência, é projetada para proteger a barragem contra o galgamento].

Os requisitos em outros documentos de orientação sobre a segurança de barragens de rejeitos expressam o mesmo conceito, mas sem definições explícitas de “vazão do projeto”. De acordo com as Guidelines on Tailings Dams [Diretrizes sobre Barragens de Rejeitos] do Australian National Committee on Large Dams [Comitê Nacional Australiano sobre Grandes Barragens], “*All storages must be designed with adequate freeboard to retain design floods, normally with spillways to pass higher floods without damaging the dam*” [Todos os reservatórios devem ser projetados com borda livre adequada para reter as vazões do projeto, normalmente com vertedouros para extravasar cheias de maior magnitude sem danificar a barragem] (ANCOLD, 2012, 2019). De acordo com a Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams [Aplicação das Diretrizes de Segurança de Barragens a Barragens de Mineração] da Canadian Dam Association [Associação Canadense de Barragens], “*Management of water contained by mining dams has a number of major functions: ... (c) Storage and/or safe passage of the Inflow Design Flood (IDF) runoff to ensure the integrity of the containment dams*” [A gestão da água contida por barragens de mineração desempenha diversas funções fundamentais: ... (c) Armazenamento e/ou passagem segura do escoamento da Vazão do Projeto de Entrada (IDF), para assegurar a integridade das barragens de contenção] (Canadian Dam Association, 2019).

No caso da mina MRN, todas as instalações de armazenamento de rejeitos são completamente circundadas por aterros artificiais (MRN, 2025b; ver Figs. 2-3). Uma vez que nenhum curso d’água ou escoamento superficial entra nas instalações de armazenamento de rejeitos, a vazão do projeto depende unicamente do bordo livre, isto é, da diferença de cota entre a crista da barragem e o nível da água nos reservatórios de rejeitos (ver Fig. 3). Não há documento disponível que especifique o período de retorno do evento de precipitação que poderia resultar no galgamento de qualquer uma das barragens de rejeitos. Embora não seja possível mensurar a borda livre a partir da única imagem de drone disponível (ver Fig. 3), a ausência de borda livre constitui motivo de preocupação. Outra questão referente à vazão do projeto diz respeito à capacidade dos aterros de terra de resistir a uma tempestade de determinada intensidade e duração, a qual corresponderia também a um período de retorno específico. Na ausência de qualquer informação sobre a borda livre ou sobre a capacidade dos aterros de resistir

a tempestades de alta intensidade, a pontuação correta para a vazão do projeto deve ser 10, correspondendo a uma vazão do projeto desconhecida (ver Tabela 6a).

Os consultores da MRN realizaram, de fato, análises de ruptura de barragem para cheias com períodos de retorno de 10.000 anos (ver Figs. 16d-f). No entanto, a cheia considerada em uma análise de ruptura de barragem não corresponde ao que se entende por “vazão do projeto”, conforme definido tanto nas regulamentações brasileiras (Diário Oficial da União, 2024) quanto em diversos documentos de orientação sobre a segurança de barragens de rejeitos (ANCOLD, 2012; 2019; Canadian Dam Association, 2019; ICOLD, 2022; FEMA, 2025). De fato, a premissa, nas análises de ruptura de barragem do cenário “Dia chuvoso”, de que o galgamento ocorreria em resposta a uma cheia com período de retorno de 10.000 anos (ver Figs. 16d-f) contradiz qualquer alegação de que a vazão do projeto poderia ter o mesmo período de retorno.

Se a pontuação for alterada para refletir uma vazão do projeto desconhecida e o método construtivo a montante, conforme apropriado, então 16 barragens de rejeitos deverão ser classificadas na Categoria de Risco Médio, com as demais atribuídas à Categoria de Risco Baixo (ver Tabela 12). A barragem de rejeitos com a maior probabilidade de falha é TP2, que deverá apresentar uma pontuação CRI de 68 após a alteração do método construtivo para a montante e da vazão do projeto para desconhecida (ver Tabela 12). A barragem de rejeitos TP2 também apresenta a pontuação CRI mais elevada, de 48, de acordo com as informações disponíveis no site da ANM (2025) (considerando construção em etapa única e uma vazão do projeto correspondente à CMP ou a uma cheia com período de retorno de 10.000 anos) (ver Tabelas 2b e 12). Dado que a barragem de rejeitos TP2 apresenta agora uma pontuação de 48 no site da ANM (2025) e, considerando que a pontuação mínima para a Categoria de Risco Médio é 41 (ver Tabela 10a), múltiplos aspectos de degradação no Estado de Conservação (ver Tabela 7) devem ter ocorrido para alterar a Categoria de Risco de Baixo para Médio em abril de 2024 (ver Tabela 4). Em contrapartida, uma vez que a barragem de rejeitos TP1 possui uma pontuação CRI de 42 no site da ANM (2025) (ver Tabela 2b), apenas uma degradação leve no Estado de Conservação poderia ter elevado a Categoria de Risco de Baixo para Médio em abril de 2024 (ver Tabela 4). Notar que as alterações nas Características Técnicas (ver Tabelas 6a-b) têm menor probabilidade de ocorrer de uma inspeção ou revisão para outra. Caso contrário, não há informações sobre o motivo pelo qual cinco barragens de rejeitos foram reclassificadas da Categoria de Risco Baixo para a Categoria de Risco Médio entre março e abril de 2024.

Tabela 12. Barragens de rejeitos na mina Mineração Rio do Norte: Informação corrigida com base em análise do autor¹

Nome	Método Construtivo	Categoria de Risco	
		Faixa de Classificação	Pontuação (CRI)
Rejeitos Convencionais			
TP1	Etapa única → Montante	MÉDIO	42 → 62
TP2	Etapa única → Montante	MÉDIO	48 → 68
TP3	Jusante	LOW	23 → 33
Rejeitos Espessados			
SP1	Etapa única	BAIXO → MÉDIO	31 → 41
SP2_3	Montante	BAIXO → MÉDIO	38 → 48
SP4 Norte	Linha de centro → Montante	MÉDIO	43 → 58
SP4 Sul	Linha de centro → Montante	BAIXO → MÉDIO	35 → 50
SP5 Leste	Linha de centro → Montante	BAIXO → MÉDIO	33 → 48
SP5 Oeste	Linha de centro → Montante	BAIXO → MÉDIO	31 → 51
SP6	Montante	LOW	30 → 40
SP7A	Linha de centro → Montante	MÉDIO	43 → 58
SP7B	Linha de centro → Montante	BAIXO → MÉDIO	34 → 49
SP7C	Linha de centro → Montante	MEDIUM	43 → 58
SP8	Etapa única → Montante	BAIXO → MÉDIO	33 → 53
SP9	Etapa única	LOW	29 → 39
SP9A	Etapa única → Montante	BAIXO → MÉDIO	24 → 44
SP10	Etapa única	LOW	27 → 37
SP11	Etapa única	LOW	27 → 37
SP12	Etapa única → Montante	BAIXO → MÉDIO	23 → 43
SP13	Etapa única → Montante	BAIXO → MÉDIO	22 → 42
SP14	Etapa única → Montante	BAIXO → MÉDIO	23 → 43
SP15	Etapa única → Montante	LOW	19 → 39
SP16	Etapa única	LOW	19 → 29
SP19	Jusante	LOW	22 → 32
SP-24A	Etapa única	LOW	12 → 22
SP-24B	Etapa única	LOW	15 → 25
SP-24C	Etapa única	LOW	15 → 25
SP-25A	Etapa única	LOW	9 → 19
SP-25B	Etapa única	LOW	9 → 19
SP-25C	Etapa única	LOW	9 → 19

¹As informações à esquerda da seta foram retiradas do site da ANM (ver Tabelas 2a-b). As informações à direita da seta são baseadas na análise do autor.

4: As Análises Computacionais de Ruptura de Barragem são Inconsistentes com Falhas Anteriores

O objetivo desta subseção é avaliar a confiabilidade das análises computacionais de ruptura de barragens, contidas nos Planos de Ação de Emergência desenvolvidos para as barragens de rejeitos da mina MRN, por meio da comparação das velocidades previstas para a onda de rejeitos com medições provenientes de 13 falhas de barragens de rejeitos ocorridas no

passado (ver Tabela 13). As velocidades das ondas de rejeitos históricas são analisadas com certo detalhe, uma vez que esse material não havia sido, anteriormente, compilado em um único local. As medições provenientes de falhas passadas de barragens de rejeitos são agrupadas em três categorias: velocidade de pico, velocidade média (calculada sobre toda a extensão do escoamento) e velocidades médias para seções específicas do escoamento (ver Tabela 13).

Das sete rupturas de instalações de armazenamento de rejeitos para as quais foram medidas velocidades de pico, a maioria ultrapassou 90 quilômetros por hora, sendo a maior velocidade de pico de 112 quilômetros por hora, conforme medido na falha da instalação de armazenamento de rejeitos em Stava, Itália, em 1985 (ver Tabela 13). As únicas exceções foram o fluxo de rejeitos em Aberfan, País de Gales, em 1966 (velocidade de pico medida em 22 quilômetros por hora) e o fluxo de rejeitos em El Cobre, Chile, em 1965 (medida em 47 quilômetros por hora) (ver Tabela 13). No entanto, deve-se notar que existem divergências entre os estudos quanto às velocidades de pico mencionadas anteriormente. Assim, para o fluxo de rejeitos em Aberfan, enquanto Jeyapalan (1981) afirmou que a velocidade de pico foi de 22 quilômetros por hora, Blight (2010) constatou que a velocidade média poderia ter atingido até 32 quilômetros por hora (ver Tabela 13). Para o fluxo de rejeitos em El Cobre, enquanto Rana et al. (2021) afirmaram que a velocidade de pico foi de 47 quilômetros por hora, Luino e De Graff (2012) constataram que a velocidade média poderia ter atingido até 50 quilômetros por hora (ver Tabela 13). Embora nenhum estudo tenha estabelecido uma velocidade de pico para a falha da instalação de armazenamento de rejeitos em Jupille, na Bélgica, em 1973, Jeyapalan (1981) constatou uma velocidade média na faixa de 110 a 160 quilômetros por hora, o que certamente implica uma velocidade de pico muito elevada (ver Tabela 13). Da mesma forma, Petley (2019) constatou uma velocidade média de 120 quilômetros por hora para uma seção da zona de escoamento decorrente da falha da instalação de armazenamento de rejeitos em Brumadinho, o que, mais uma vez, sugere uma velocidade de pico muito elevada (ver Tabela 13). Em suma, na ausência de outras informações, uma velocidade de pico superior a 100 quilômetros por hora constitui uma premissa razoável para um fluxo de rejeitos.

As velocidades médias ao longo de todo o escoamento variaram de 12 a 160 quilômetros por hora, com valores medianos e médios de 36 e 52 quilômetros por hora, respectivamente, quando considerados em todos os estudos (ver Tabela 13). Os valores médios em seções específicas variaram de 2,5 a 120 quilômetros por hora (ver Tabela 13). Os valores mais baixos de 2,5 e 6,8 quilômetros por hora, encontrados por Rana et al. (2021) para seções específicas da falha da instalação de armazenamento de rejeitos em Aznalcóllar, Espanha, em 1998, são contestados por Kossof et al. (2014), que determinaram que a velocidade média ao longo de todo o escoamento foi de 60 quilômetros por hora (ver Tabela 13). Em resumo, na ausência de outras informações, uma velocidade média de 35 quilômetros por hora ao longo do escoamento inicial constitui uma premissa razoável para uma inundação de rejeitos.

Tabela 13. Medições empíricas de falhas passadas em barragens de rejeitos: Velocidades de fluxo de rejeitos

Local ou Mina País	Ano	Velocidade Máxima (km/h)	Velocidade Média em Todo o Escoamento (km/h)	Velocidades Médias em Seções Específicas (km/h)
Barahona ¹ Chile	1928	108	—	—
Tlalpujahua ² México	1937	>90	—	25 32 36 50 72-90
El Cobre Chile	1965	47 ¹	50 ³ 29 ⁴	—
Sgorigrad ³ Bulgária	1966	—	30	—
Aberfan País de Gales	1966	22 ⁵	18 ³ 16-32 ⁴	—
Fort Meade ³ EUA	1971	—	30-36	—
Buffalo Creek ³ EUA	1972	—	12	—
Jupille ⁵ Bélgica	1973	—	110-160	—
Bafokeng África do Sul	1974	108 ⁵	<40 ³ 36 ^{1,4}	—
Stava Itália	1985	112 ¹	72-97 ³	30 90 ¹ 29 35 45 ⁶
Aznalcóllar Espanha	1998	—	60 ⁷	2,5 6,8 ¹
Samarco ¹ Brasil	2015	—	—	7 40
Brumadinho Brasil	2019	108 ⁸ 101 ¹	—	72-86 90-108 ⁸ 66 120 ⁹ 65 <25 ¹

¹Rana et al. (2021)

²Macías et al. (2015)

³Luino e De Graff (2012)

⁴Blight (2010)

⁵Jeyapalan (1981)

⁶Takahashi (1991)

⁷Kossof et al. (2014)

⁸Robertson et al. (2019)

⁹Petley (2019)

Vale ressaltar que algumas regulamentações admitem 20 quilômetros por hora como velocidade média mínima para uma onda de rejeitos. Em particular, em Minas Gerais (Brasil) e no Equador, a velocidade mínima de 20 quilômetros por hora serve de base para a distância mínima de separação exigida de 10 quilômetros entre uma instalação de armazenamento de rejeitos e uma comunidade situada a jusante, bem como para um tempo mínimo de separação de

30 minutos. De acordo com a Assembleia Legislativa de Minas Gerais [Legislative Assembly of Minas Gerais] (2019), “§ 1 – Para os fins do disposto nesta lei, considera-se zona de autossalvamento a porção do vale a jusante da barragem em que não haja tempo suficiente para uma intervenção da autoridade competente em situação de emergência. § 2º – Para a delimitação da extensão da zona de autossalvamento, será considerada a maior entre as duas seguintes distâncias a partir da barragem: I – 10km (dez quilômetros) ao longo do curso do vale; II – a porção do vale passível de ser atingida pela onda de inundação num prazo de trinta minutos”. O ato legislativo em Minas Gerais estipulou, então, que ninguém deveria ter de viver em uma zona de autossalvamento. De acordo com a legislação, “Fica vedada a concessão de licença ambiental para construção, instalação, ampliação ou alteamento de barragem em cujos estudos de cenários de rupturas seja identificada comunidade na zona de autossalvamento” (Assembleia Legislativa de Minas Gerais, 2019). De acordo com o Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables [Ministério da Energia e dos Recursos Naturais Não Renováveis] (Equador) (2020b), “*Se prohíbe el diseño y construcción de depósitos de relave en los casos que se identifique una zona poblada ubicada aguas abajo del mismo que pudiera ser afectada por la onda de inundación, la cual queda limitada por la mayor de las dos distancias: • A diez (10) kilómetros de distancia aguas abajo del pie de la presa a lo largo del curso del valle, o; • La porción de territorio que sea alcanzada por la onda de inundación en un plazo de 30 minutos*” [O projeto e a construção de depósitos de rejeitos são proibidos nos casos em que uma área povoada seja identificada a jusante do depósito que possa ser afetada pela onda de inundação, limitada pela maior das duas distâncias: • Dez (10) quilômetros a jusante da base da barragem ao longo do curso do vale, ou; • A porção do território que é atingida pela onda de inundação dentro de um período de 30 minutos]. A importância da “zona de autossalvamento” (ZAS) no restante do Brasil (fora de Minas Gerais) será discutida na subseção “Os Planos de Ação de Emergência são Inadequados”.

Já foi mencionado que, após o escoamento inicial, os processos fluviais normais continuarão a transportar os rejeitos para o oceano ou para um grande lago. Leopold (1994) constatou que, para os rios dos Estados Unidos, a velocidade média de fluxo era de 4,84 pés por segundo (5,31 quilômetros por hora). Em resumo, na ausência de outras informações e com base no banco de dados empírico, podem ser feitas as seguintes premissas sobre inundações por rejeitos em geral:

- 1) A velocidade de pico excederá 100 quilômetros por hora.
- 2) A velocidade média ao longo do escoamento inicial será de cerca de 35 quilômetros por hora.
- 3) Após o escoamento inicial, os rejeitos se deslocarão a cerca de 5 quilômetros por hora até alcançarem o oceano ou um grande lago.

Dos Planos de Ação de Emergência e análises computacionais de ruptura de barragem disponíveis para a mina MRN (BVP Engenharia, 2018a-b; DAM, 2020b; Pimenta de Ávila Consultoria, 2020a-b, 2021, 2023; Golder, 2021a-b), o único que apresenta as velocidades de inundação por rejeitos é o da BVP Engenharia (2018c) (ver Figs. 16b-f e Tabelas 11b-f). Com base nas primeiras chegadas da onda de rejeitos a uma profundidade de 2 pés (0,61 metros) na estação mais próxima (ST-01), na estação mais distante e na estação situada imediatamente a montante do aterro ferroviário, Tabela 14 compila a velocidade de pico dos rejeitos, a velocidade média dos rejeitos ao longo de todo o escoamento, a velocidade média dos rejeitos antes de o fluxo ser regulado pela galeria de drenagem que atravessa o aterro ferroviário e a velocidade média dos rejeitos após o fluxo ser regulado pela galeria de drenagem que atravessa o aterro

ferroviário, para o cenário de “dia seco” (Cenário B) e para o cenário de cheia de 10.000 anos (Cenário C), referentes às barragens de rejeitos TP1 e TP2. As velocidades de pico variam de 62 a 123 quilômetros por hora durante o cenário de “dia seco” e de 138 a 351 quilômetros por hora durante o cenário de cheia com um período de retorno de 10.000 anos, valores que são razoavelmente consistentes com a observação empírica de que as velocidades de pico excederão 100 quilômetros por hora. Assim, a BVP Engenharia (2018c) parece ter modelado corretamente a ruptura e o fluxo inicial de rejeitos a partir das barragens de rejeitos.

Tabela 14. Velocidades de pico e médias dos rejeitos após a ruptura da barragem¹

Barragem e Parede	Velocidade de Pico dos Rejeitos (km/h)²	Velocidade Média dos Rejeitos (km/h)³	Velocidade Média dos Rejeitos antes do Aterro Rodoferroviário (km/h)⁴	Velocidade Média dos Rejeitos após o Aterro Rodoferroviário (km/h)⁵
Cenário de “Dia Seco”				
Parede Norte de TP1	122,87	0,69	0,88	0,31
Parede Sul de TP1	62,07	1,52	3,23	1,26
Cenário de Cheia de 10,000 Anos				
Parede Norte de TP1	256,91	1,47	4,80	1,09
Parede Sul de TP1	138,46	2,71	4,63	2,41
Parede Norte de TP2	351,00	1,79	6,23	1,23

¹Calculado a partir dos dados de Tabelas 11b-f

²Com base na primeira chegada da onda de rejeitos a uma profundidade de 2 pés (0,61m) na estação mais próxima (ST-01).

³Com base na primeira chegada da onda de rejeitos a uma profundidade de 2 pés (0,61 m) na estação mais distante.

⁴Com base na primeira chegada da onda de rejeitos a uma profundidade de 2 pés (0,61 m) na estação situada imediatamente antes do fluxo de rejeitos ser controlado através de uma galeria de drenagem

⁵Calculado como a diferença entre a distância até a estação mais distante e a distância até a estação situada imediatamente antes do fluxo de rejeitos ser controlado através de uma galeria de drenagem, dividida pela diferença entre as primeiras chegadas da onda de rejeitos a uma profundidade de 2 pés nas referidas estações

Por outro lado, as velocidades médias previstas dos rejeitos resultantes de falhas nas TP1 e TP2 situaram-se entre 0,69 e 1,52 quilômetros por hora para falhas em um “dia seco”, e entre 1,47 e 2,71 quilômetros por hora para falhas decorrentes de uma cheia de 10.000 anos (ver Tabela 14). Mesmo para os fluxos a montante do aterro ferroviário, as velocidades médias previstas dos rejeitos resultantes de falhas nas TP1 e TP2 situaram-se entre 0,88 e 3,23 quilômetros por hora para falhas em um “dia seco”, e entre 4,80 e 6,23 quilômetros por hora para falhas decorrentes de uma cheia de 10.000 anos (ver Tabela 14). Assim, as velocidades previstas para os rejeitos são muito inferiores à observação empírica de que a velocidade média dos rejeitos calculada ao longo do escoamento inicial é de cerca de 35 quilômetros por hora (ver Tabela 13). Mesmo para o fluxo a montante do aterro ferroviário, durante uma cheia com período de retorno de 10.000 anos, a velocidade prevista dos rejeitos mal supera a velocidade média do fluxo durante a vazão normal do curso d’água, que é de cerca de 5 quilômetros por hora. Em outras palavras, as análises computacionais de ruptura de barragens devem ser consideradas altamente não confiáveis para a previsão do fluxo de rejeitos através dos canais a jusante. Não há informações suficientes em BVP Engenharia (2018c) ou em qualquer outro documento disponível a respeito dos dados de entrada do modelo, o que permitiria determinar por que os modelos computacionais são tão pouco confiáveis.

Um contraste interessante é que o modelo computacional para a cheia de 100 anos sem a falha da barragem de rejeitos (ver Fig. 16a e Tabela 11a) parece ser mais confiável (coerente com as observações empíricas) do que os modelos computacionais para as inundações de rejeitos. A média das velocidades máximas atingidas em cada seção é de 1,07 metros por segundo (3,87 quilômetros por hora), enquanto a maior das velocidades máximas em todas as seções é de 2,26 metros por segundo (8,14 quilômetros por hora) (ver Tabela 11a). Considerando uma velocidade média calculada a partir da média de todos os cursos d'água de cerca de 5 quilômetros por hora (Leopold, 1994), as velocidades da água previstas parecem situar-se na faixa inferior, mas não tão distantes da realidade quanto as velocidades previstas para a mistura de água e rejeitos (comparar Tabelas 13 e 14). Assim, os modelos computacionais ainda parecem deficientes em sua capacidade de modelar até mesmo o fluxo da água através dos canais a jusante. Uma comparação entre o fluxo normal do curso d'água e uma cheia com período de retorno de 100 anos (considerando apenas a água e sem a falha da barragem de rejeitos) poderia ajudar a demonstrar onde e de que maneira os modelos computacionais estão falhando em reproduzir a realidade. A relevância de uma comparação entre o fluxo normal e uma cheia com período de retorno de 100 anos é discutida mais detalhadamente na subseção “Os Danos Potenciais Associados foram Rebaixados Incorretamente”.

Em geral, nada está sendo feito em qualquer uma das análises disponíveis de ruptura de barragens para convencer o leitor de que os modelos computacionais são confiáveis. Conforme discutido na seção “Tutorial”, as análises de ruptura de barragens de rejeitos são pouco confiáveis quase por definição, uma vez que nunca são calibradas. Conforme também foi discutido, a prática padrão da indústria consiste em realizar uma análise de sensibilidade que promova a confiança nas previsões de um modelo ou exponha a verdadeira falta de confiança. No entanto, no caso da mina MRN, não há análises de sensibilidade em nenhuma das análises de ruptura de barragem disponíveis. Com base na discussão apresentada nesta subseção, a análise de sensibilidade óbvia seria determinar a intensidade com que as previsões do modelo variam dentro da faixa razoável de incerteza do coeficiente de rugosidade de Manning (uma medida da resistência ao fluxo da água ao longo do leito do ribeiro) para os cursos d'água a jusante.

Como observação final, de modo superficial, poderia parecer que as inundações de rejeitos deveriam apresentar velocidades inferiores às das inundações de água, o que poderia explicar por que as velocidades dos fluxos de rejeitos são tão inferiores às velocidades previstas para o fluxo de água com um período de retorno de 100 anos (comparar Tabelas 11a e 14). Esse raciocínio, contudo, é incorreto, pois a mistura de rejeitos e água nas três barragens de rejeitos TP possui um teor inicial de sólidos de apenas 7-8%, espessando-se para apenas 18-25% antes de ser transferida para uma barragem de rejeitos SP. Além disso, mesmo no cenário de “dia seco” (supondo uma vazão hídrica normal), águas adicionais são incorporadas à mistura liberada de rejeitos e água pelos cursos d'água a jusante. Durante um evento de galgamento resultante de uma inundação com período de retorno de 10.000 anos, uma enorme quantidade de água será adicionada à mistura de rejeitos e água, proveniente tanto da precipitação sobre a barragem de rejeitos quanto da mistura com as águas da inundação nos cursos d'água a jusante. Finalmente, as inundações por rejeitos de fato apresentam velocidades superiores às inundações compostas apenas por água. Com base em nove falhas de barragens de rejeitos nas quais as velocidades foram medidas, calculadas como médias ao longo de todo o escoamento, os valores variaram de 12 a 160 quilômetros por hora, com valores medianos e médios de 36 e 52 quilômetros por hora, respectivamente (ver Tabela 13). Em contrapartida, a maior velocidade de fluxo de corrente já medida nos EUA foi de 22,4 pés por segundo (24,6 quilômetros por hora) em 1932 (Leopold,

1994). As velocidades de pico típicas de inundações de rejeitos, superiores a 100 quilômetros por hora (ver Tabela 13), certamente não encontram paralelo em inundações compostas apenas por água.

5: Os Danos Potenciais Associados foram Rebaixados Incorretamente

O objetivo principal desta subseção é determinar se é correto classificar todas as barragens de rejeitos SP, bem como a TP3, como de Dano Potencial Associado (DPA) Médio, enquanto a TP1 e a TP2 foram classificadas como de DPA Alto (ver Tabela 2b). Foi mencionado na seção “Resumo das Barragens de Rejeitos na Mina MRN” que TP1 e TP2 receberam a classificação de DPA Alto com base nos volumes de armazenamento (ver Tabela 2a) e na avaliação da “Existência de população a jusante” como “Existente”, do “Impacto Ambiental” como “Significativo” e do “Impacto socioeconômico” como “Médio” (ver Tabelas A5 e B5). Embora nenhum documento disponível explique essas avaliações, na ausência de outras informações, deve-se presumir que o fator-chave seja a chegada da onda de rejeitos à comunidade de Sapucú (ver Figs. 16d e 16f), especialmente no que tange a uma população “Existente”.

Em contraste com TP1 e TP2, para todas as outras barragens de rejeitos, exceto SP9A e SP14, a avaliação de “Existência de populações a jusante” é declarada como “Pouco Freqüente (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)” (ver Tabela 9 e Apêndices). Para SP9A e SP14, a “Existência de populações a jusante” é avaliada como “Inexistente (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporários/transitando na área afetada a jusante da barragem)” (ver Tabelas 9, P5 e U5).

Apesar da avaliação da “Existência de populações a jusante” como “Pouco Freqüente”, algumas das análises de ruptura de barragens disponíveis para as barragens de rejeitos SP, tais como SP8, SP9 e SP4 Norte, demonstram claramente que a onda de rejeitos atinge a comunidade de Sapucú durante uma ruptura decorrente de uma cheia com período de retorno de 10.000 anos (ver Figs. 21a-c). Vale ressaltar que o centro de Sapucú situa-se a sudeste da interseção das coordenadas de grade 9800000 N e 580000 E, estendendo-se a comunidade por aproximadamente 3.500 metros a noroeste e 3.500 metros a sudeste (comparar com Fig. 16a). Ainda assim, as análises de ruptura de barragem para as barragens de rejeitos SP parecem ter pressuposto condições de inundação a jusante menos extremas do que as análises para TP1 e TP2, de modo que os dois conjuntos de análises de ruptura não são, de fato, comparáveis. Em alguns aspectos, a inundação decorrente da ruptura das barragens de rejeitos SP8, SP9 e SP4 Norte, durante um evento de cheia com período de retorno de 10.000 anos, foi inferior à inundação resultante de um evento de cheia com período de retorno de 100 anos nos cursos d’água a jusante, na ausência de qualquer ruptura de barragem de rejeitos (comparar Figs. 21a-c com Fig. 16a). Assim, enquanto o mapa de inundação decorrente de falhas nas barragens de rejeitos TP1 ou TP2 durante uma cheia de 10.000 anos pressupunha uma cheia com período de retorno de 100 anos nos cursos d’água a jusante (uma contradição ilógica, conforme discutido anteriormente), o mapa de inundação decorrente de falhas nas barragens de rejeitos SP8, SP9 e SP4 Norte pressupunha provavelmente a condição mais branda de vazão normal nos cursos d’água a jusante (uma contradição ainda mais ilógica). Em suma, a atribuição da categoria “Existência de populações a jusante” como “Existente” para TP1 e TP2, e como “Pouco Freqüente” para, ao menos, SP8, SP9 e SP4 Norte, é totalmente arbitrária. De fato, com base nas

análises de ruptura de barragens disponíveis, as barragens TP1, TP2, SP8, SP9 e SP4 Norte deveriam receber, todas, a pontuação máxima para o critério “Existência de populações a jusante”. Assim, supondo que o escoamento de rejeitos proveniente de SP8, SP9 e SP4 Norte seguiria o mesmo trajeto geral que o de TP1 e TP2 (comparar Figs. 21a-c com Figs. 16b-f), todas as cinco barragens de rejeitos deveriam receber uma classificação DPA Alta.

O passo seguinte foi determinar quais das demais barragens de rejeitos SP poderiam acarretar consequências de falha pelo menos tão graves quanto as de TP1 e de TP2. Esse passo foi reformulado na forma da seguinte pergunta: Quais das barragens de rejeitos da SP apresentam distâncias de escoamento previstas pelo menos tão grandes quanto as distâncias de escoamento previstas para TP1 e TP2? A questão foi abordada atualizando o modelo empírico de Larrauri e Lall (2018) com os dados de cinco falhas adicionais de barragens de rejeitos (ver Tabela 15). Com base nos novos dados, as Eqs. (2)-(3) são atualizadas para

$$V_F = 0,363 \times V_T^{0,98} \quad (5)$$

$$D_{max} = 2,83 \times H_f^{0,527} \quad (6)$$

onde V_F é o volume de libertação provável (milhões de metros cúbicos), H_f é o fator de barragem, V_T é o volume total de rejeitos e água armazenados (milhões de metros cúbicos) e D_{max} é a distância de escoamento provável (quilômetros) (ver Figs. 22a-b). A Eq. (1), que define o fator de barragem em função da altura da barragem, do volume de libertação e do volume de armazenamento, e a Eq. (4), que prevê a distância de escoamento de pior caso, permanecem inalteradas. Com exceção das barragens de rejeitos que ainda não armazenam rejeitos, os volumes de armazenamento na mina MRN variam de 0,30877 a 13,470794 milhões de metros cúbicos (ver Tabela 2a), enquanto os fatores de barragem prováveis na mina MRN variam de 0,3 a 38,0 m x 10⁶ m³ (ver Tabela 16). Visto que os volumes de armazenamento e os fatores de barragem situam-se na faixa intermediária dos dados utilizados para desenvolver o modelo estatístico (ver Figs. 22a-b), o modelo deve ser considerado altamente confiável para a mina MRN.

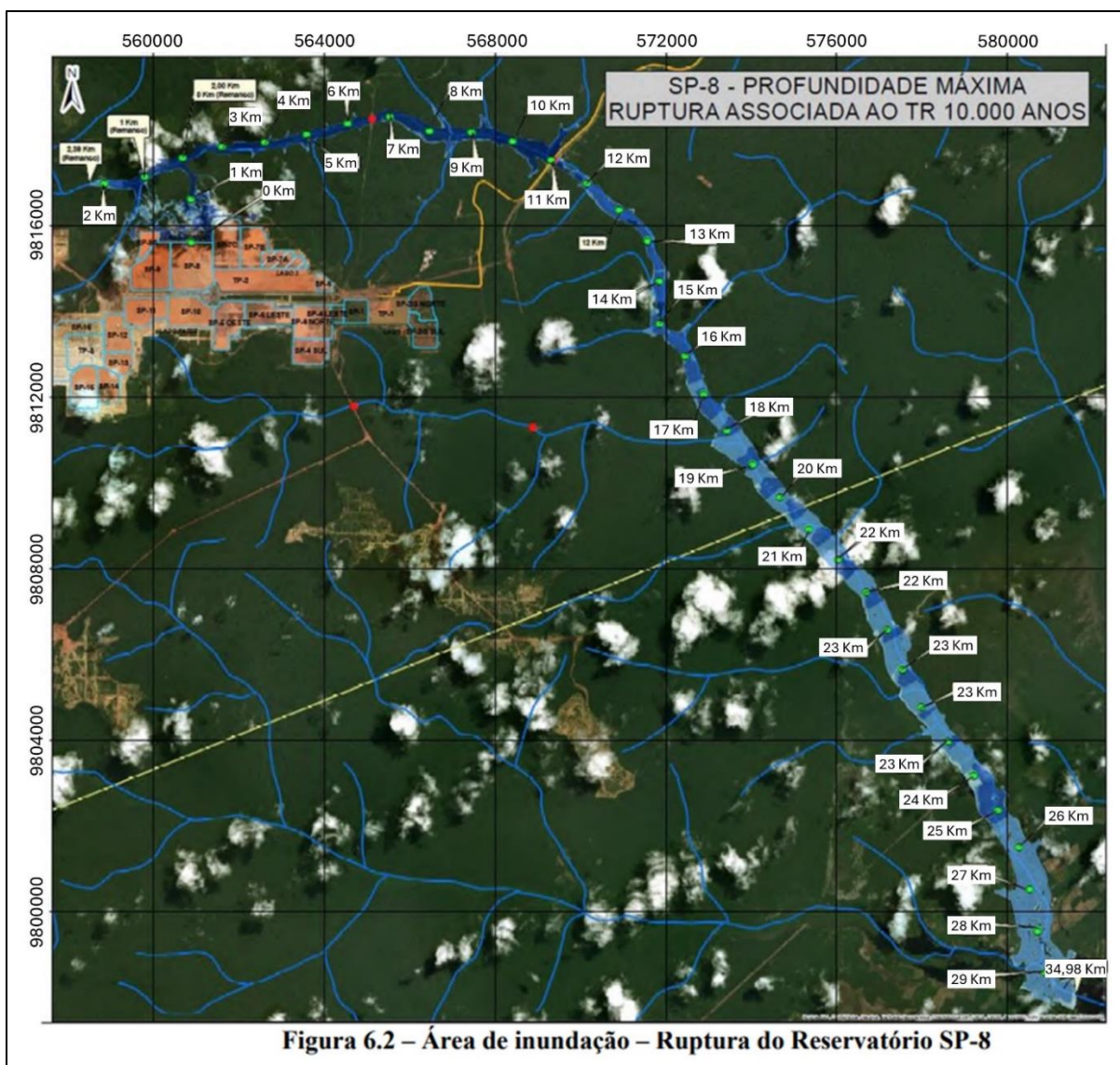


Figura 6.2 – Área de inundação – Ruptura do Reservatório SP-8

Figura 21a. A DAM (2020b) calculou a inundação que resultará da falha da barragem de rejeitos SP8 devido ao galgamento durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos. Notar a localização da comunidade de Sapucaá a sudeste da interseção das coordenadas 9800000 N e 580000 E (compare com Fig. 16a). Assim, o mapa esclarece que a inundação de rejeitos resultante de uma falha por galgamento da barragem SP8 atingirá e passará pela comunidade de Sapucaá, podendo obliterar a comunidade, como também foi demonstrado para as barragens de rejeitos TP1 (ver Fig. 16d) e TP2 (ver Fig. 16e). Em outras palavras, a atribuição da categoria “Existência de população a jusante” como Existente para as barragens de rejeitos TP1 e TP2 e a atribuição da categoria Infrequente para a barragem de rejeitos SP8 (compare Tabelas A5, B5 e N5) foi completamente arbitrária. Da mesma forma, a determinação de que as barragens de rejeitos TP1 e TP2 apresentavam faixa de classificação de Dano Potencial Associado de Alto, enquanto a barragem de rejeitos SP8 apresentava uma faixa de classificação de Médio, foi completamente arbitrária (ver Tabela 2b). Mesmo assim, em alguns aspectos, a inundação resultante da falha da barragem de rejeitos SP8 durante uma cheia com um tempo de retorno de 10.000 anos foi menor do que a inundação resultante de uma cheia com um tempo de retorno de 100 anos nos cursos d’água a jusante, sem qualquer falha de barragem de rejeitos (comparar com Fig. 16a). Assim, enquanto o mapa de inundação resultante da falha das barragens de rejeitos TP1 ou TP2 durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos supunha uma cheia com tempo de retorno de 100 anos nos cursos d’água a jusante (uma contradição ilógica) (ver Figs. 16d-f), o mapa de inundação resultante da falha da barragem de rejeitos SP8 supunha provavelmente a condição menos severa de fluxo normal nos cursos d’água a jusante (uma contradição ainda mais ilógica). O significado das cores não foi esclarecido em DAM (2020b). Figura da DAM (2020a) com sobreposição de etiquetas maiores.

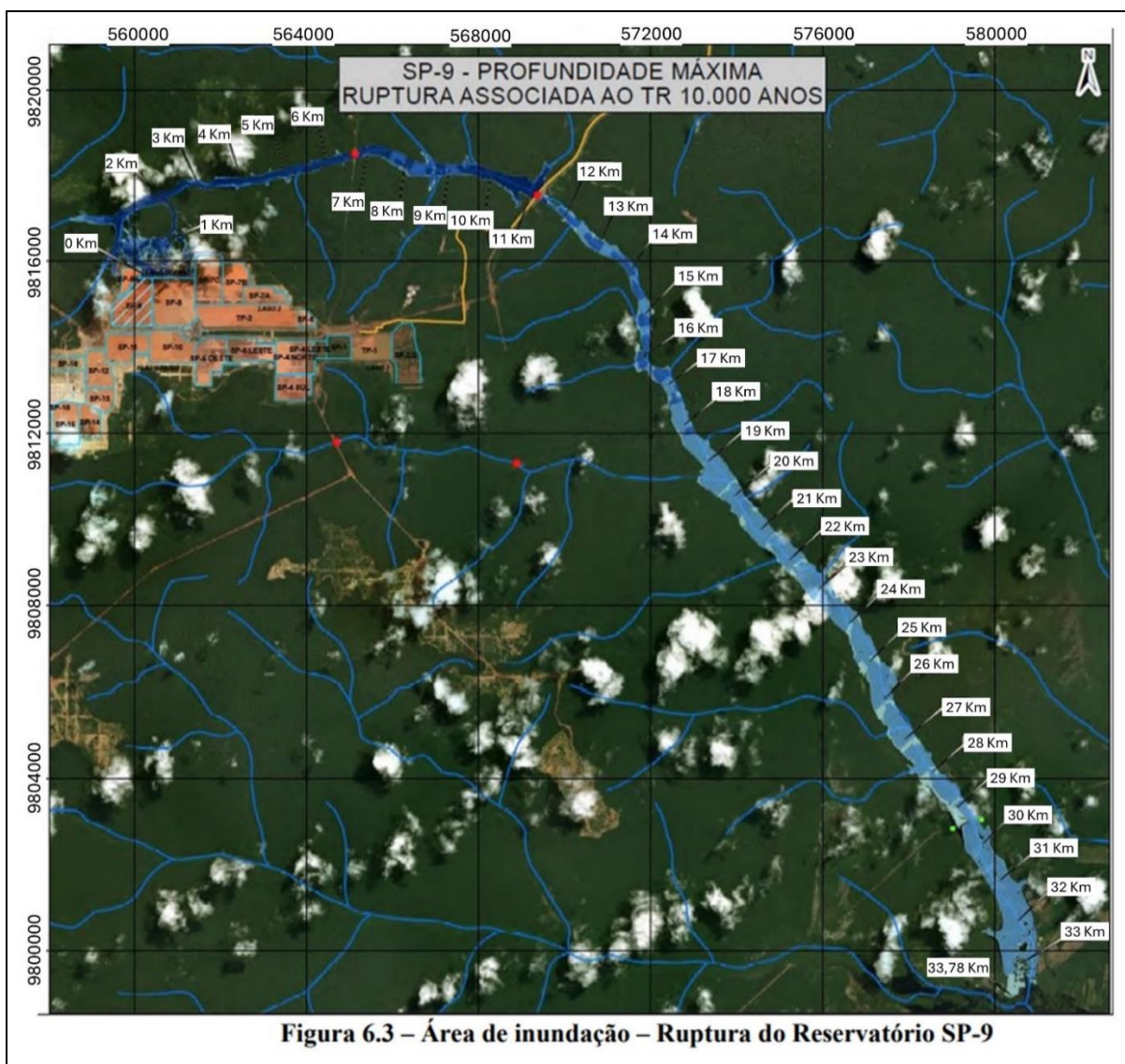


Figura 6.3 – Área de inundação – Ruptura do Reservatório SP-9

Figura 21b. A DAM (2020b) calculou a inundação que resultará da falha da barragem de rejeitos SP9 devido ao galgamento durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos. Notar a localização da comunidade de Sapucuá a sudeste da interseção das coordenadas 9800000 N e 580000 E (compare com Fig. 16a). Assim, o mapa esclarece que a inundação de rejeitos resultante de uma falha por galgamento da barragem SP9 atingirá e passará pela comunidade de Sapucuá, podendo obliterar a comunidade, como também foi demonstrado para as barragens de rejeitos TP1 (ver Fig. 16d) e TP2 (ver Fig. 16e). Em outras palavras, a atribuição da categoria “Existência de população a jusante” como Existente para as barragens de rejeitos TP1 e TP2 e a atribuição da categoria Infrequente para a barragem de rejeitos SP9 (compare Tabelas A5, B5 e N5) foi completamente arbitrária. Da mesma forma, a determinação de que as barragens de rejeitos TP1 e TP2 apresentavam faixa de classificação de Dano Potencial Associado de Alto, enquanto a barragem de rejeitos SP9 apresentava uma faixa de classificação de Médio, foi completamente arbitrária (ver Tabela 2b). Mesmo assim, em alguns aspectos, a inundação resultante da falha da barragem de rejeitos SP9 durante uma cheia com um tempo de retorno de 10.000 anos foi menor do que a inundação resultante de uma cheia com um tempo de retorno de 100 anos nos cursos d’água a jusante, sem qualquer falha de barragem de rejeitos (comparar com Fig. 16a). Assim, enquanto o mapa de inundação resultante da falha das barragens de rejeitos TP1 ou TP2 durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos supunha uma cheia com tempo de retorno de 100 anos nos cursos d’água a jusante (uma contradição ilógica) (ver Figs. 16d-f), o mapa de inundação resultante da falha da barragem de rejeitos SP9 supunha provavelmente a condição menos severa de fluxo normal nos cursos d’água a jusante (uma contradição ainda mais ilógica). O significado das cores não foi esclarecido em DAM (2020b). Figura da DAM (2020a) com sobreposição de etiquetas maiores.

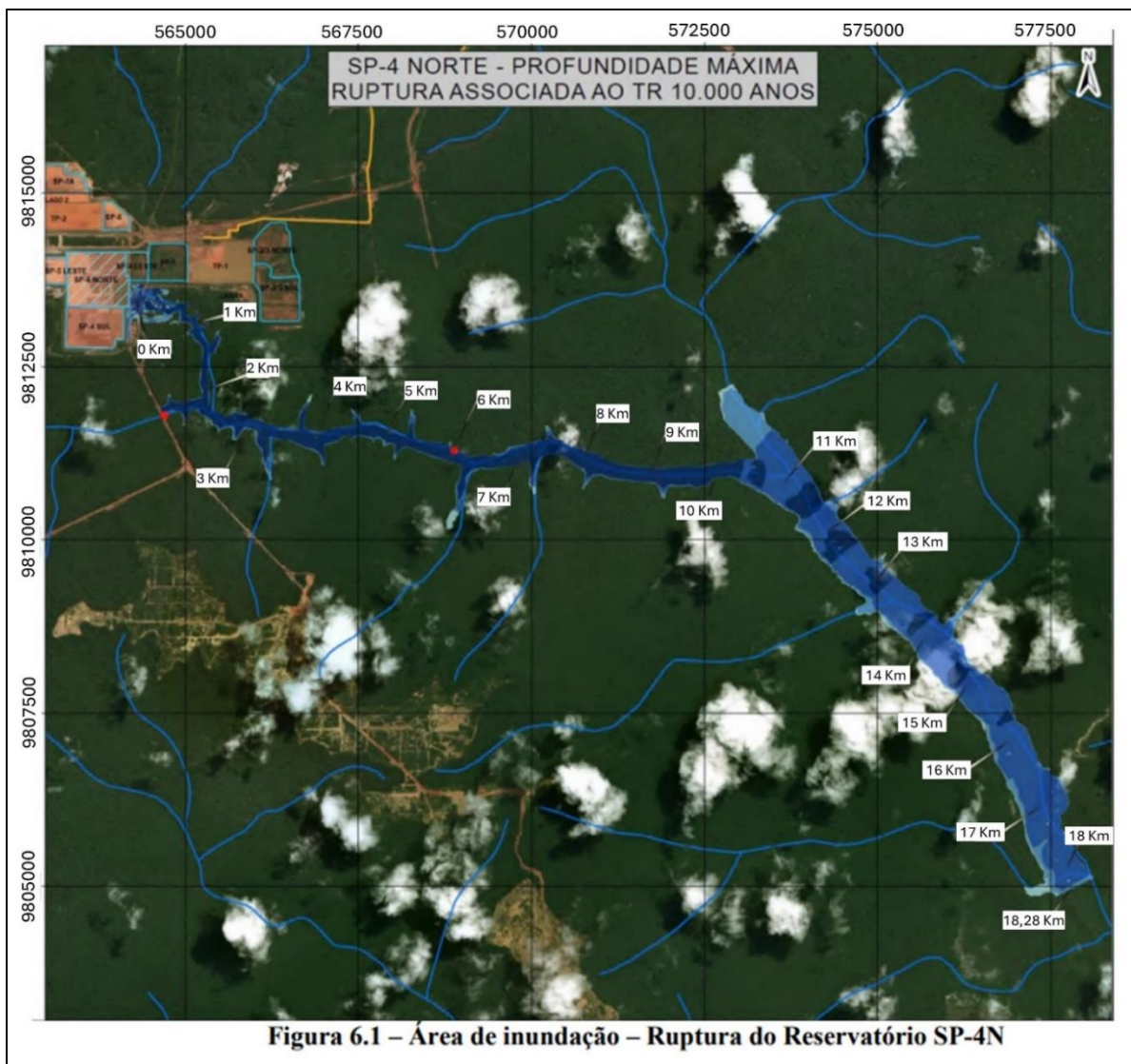


Figura 21c. A Pimenta de Ávila Consultoria (2020b) calculou a inundação que resultará da falha da barragem de rejeitos SP4 Norte devido ao galgamento durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos. Notar a localização da comunidade de Sapucuá a sudeste da interseção das coordenadas 9800000 N e 5800000 E (compare com Fig. 16a). Assim, o mapa esclarece que a inundação de rejeitos resultante de uma falha por galgamento da barragem SP4 Norte atingirá a Sapucuá, como também foi demonstrado para as barragens de rejeitos TP1 (ver Fig. 16d) e TP2 (ver Fig. 16e). Em outras palavras, a atribuição da categoria “Existência de população a jusante” como Existente para as barragens de rejeitos TP1 e TP2 e a atribuição da categoria Infrequente para a barragem de rejeitos SP4 Norte (compare Tabelas A5, B5 e N5) foi completamente arbitrária. Da mesma forma, a determinação de que as barragens de rejeitos TP1 e TP2 apresentavam faixa de classificação de Dano Potencial Associado de Alto, enquanto a barragem de rejeitos SP4 Norte apresentava uma faixa de classificação de Médio, foi completamente arbitrária (ver Tabela 2b). Mesmo assim, em alguns aspectos, a inundação resultante da falha da barragem de rejeitos SP4 Norte durante uma cheia com um tempo de retorno de 10.000 anos foi menor do que a inundação resultante de uma cheia com um tempo de retorno de 100 anos nos cursos d’água a jusante, sem qualquer falha de barragem de rejeitos (comparar com Fig. 16a). Assim, enquanto o mapa de inundação resultante da falha das barragens de rejeitos TP1 ou TP2 durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos supunha uma cheia com tempo de retorno de 100 anos nos cursos d’água a jusante (uma contradição ilógica) (ver Figs. 16d-f), o mapa de inundação resultante da falha da barragem de rejeitos SP4 Norte supunha provavelmente a condição menos severa de fluxo normal nos cursos d’água a jusante (uma contradição ainda mais ilógica). O significado das cores não foi esclarecido em Pimenta de Ávila Consultoria (2020b). Figura da Pimenta de Ávila Consultoria (2020b) com sobreposição de etiquetas maiores.

Tabela 15. Medições empíricas de falhas passadas em barragens de rejeitos: Volume de libertação e distância de escoamento.

Nº	Mina	Ano	Altura (m)	Volume de Armazenamento (Mm ³)	Volume de Libertação (Mm ³)	Distância de Escoamento (km)
Conjunto de Dados de Larrauri e Lall (2018)						
1	(não identificado), sudoeste dos EUA	1973	43	0,5	0,17	25
2	Mina Aitik, Suécia (Boliden Ltd.)	2000	15	15	1,8	5,2
4	Bafokeng, África do Sul	1974	20	13	3	45
5	Balka Chuficheva, Rússia	1981	25	27	3,5	1,3
6	Bellavista, Chile	1965	20	0,45	0,07	0,8
7	Bonsal, Carolina do Norte, EUA	1985	6	0,038	0,011	0,8
8	Cerro Negro nº (3 de 5)	1965	20	0,5	0,085	5
9	Cerro Negro nº (4 de 5)	1985	40	2	0,5	8
10	Churchrock, Novo México, United Nuclear	1979	11	0,37	0,37	110
11	Cities Service, Fort Meade, Flórida	1971	15	12,34	9	120
12	Deneen Mica, Condado de Yancey, Carolina do Norte, EUA	1974	18	0,3	0,038	0,03
13	Nova Barragem de El Cobre	1965	19	0,35	0,35	12
14	Velha Barragem de El Cobre	1965	35	4,25	1,9	12
15	Fundão-Santarém, Minas Gerais, Brasil (Samarco)	2015	90	55	32	637
18	Hokkaido, Japão	1968	12	0,3	0,09	0,15
19	Imperial Metals, Mt Polley, Colúmbia Britânica, Canadá	2014	40	74	23,6	7
22	Los Frailes, perto de Sevilha, Espanha (Boliden Ltd.)	1998	27	15	6,8	41
23	Los Maquis N.º 3	1965	15	0,043	0,021	5
24	Merriespruit, África do Sul (Harmony) -	1994	31	7,04	0,6	4

Complexo de Rejeitos n° 4A						
25	Mochikoshi N.º 1, Japão (1 de 2)	1978	28	0,48	0,08	8
27	Olinghouse, Nevada, EUA	1985	5	0,12	0,025	1,5
28	Mina Omai, N.º 1, 2, Guiana (Cambior)	1995	44	5,25	4,2	80
29	Mina Prestavel-Stava, Norte da Itália, 2, 3 (Prealpi Mineraria)	1985	29,5	0,3	0,2	8
30	Sgurigrad, Bulgária	1996	45	1,52	0,22	6
31	Stancil, Maryland, EUA	1989	9	0,074	0,038	0,1
32	Cidade de Taoshi, Linfen, Provincia de Shanxi, China (Tahsan Mining Co.)	2008	50,7	0,29	0,19	2,5
34	Tyrone, Novo México (Phelps Dodge)	1980	66	2,5	2	8
35	Veta de Agua (Chile)	1985	24	0,7	0,28	5
Pontos de Dados Adicionais¹						
	Williamson, Tanzânia (Petra Diamonds)	2022	26	25,76	12,8	7,5
	Jagersfontein, África do Sul (De Beers)	2022	—	22	6	63
	Brumadinho, Mina Córrego do Feijão, Minas Gerais, Brasil (Vale)	2019	87	12	9,57	600
	Hector Mine Pit Pond, Minnesota, EUA	2018	17	0,185	0,123	
	Aldeia de Dahegou, Luoyang, Provincia de Henan, China (Luoyang Xiangjiang Wanji Aluminum Co., Ltd.)	2016	45	2	2	2

¹ Center for Science in Public Participation [Centro para a Ciência na Participação Pública] (2025)

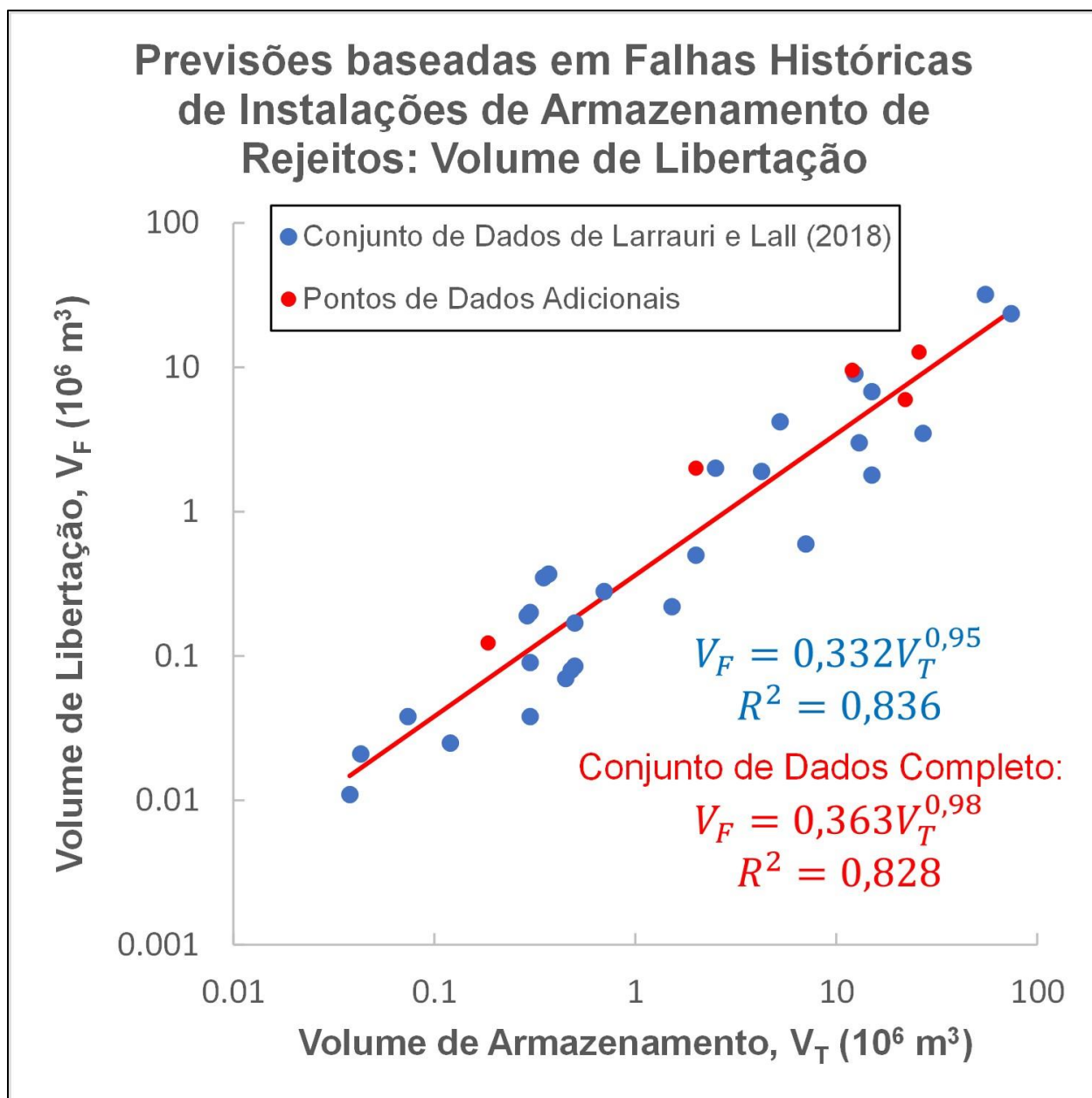


Figure 22a. Com base em 35 casos de falha de barragens de rejeitos, Laurrari e Lall (2018) encontraram uma relação de lei de potência entre o volume de armazenamento e o volume de libertação (ver Tabela 15). Este relatório atualizou a relação de lei de potência com cinco pontos de dados adicionais do Center for Science in Public Participation [Centro para a Ciência na Participação Pública] (2025) (ver Tabela 15), resultando em um aumento no volume de libertação para um determinado volume de armazenamento. Com exceção das barragens de rejeitos que ainda não armazenam nenhum material, os volumes de armazenamento na mina MRN variam de 0,30877 a 13,470794 milhões de metros cúbicos (ver Tabela 2a). Como os volumes de armazenamento se encontram no meio da faixa dos dados utilizados para desenvolver o modelo estatístico, o modelo deve ser considerado altamente confiável para a mina MRN.

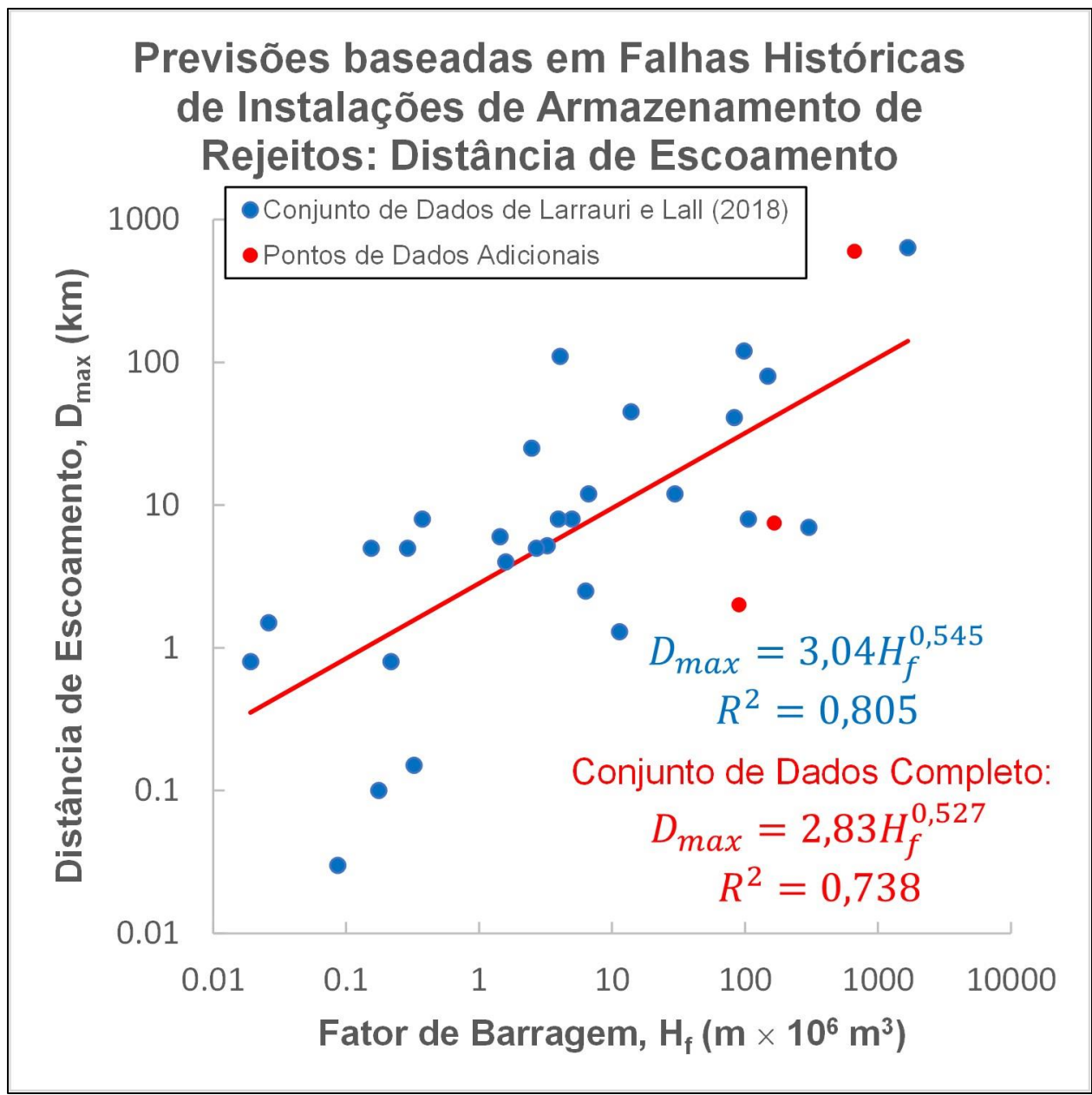


Figura 22b. Com base em 35 casos de falha de barragens de rejeitos (ver Tabela 15), Larrari e Lall (2018) encontraram uma relação de lei de potência entre a distância de escoamento e o fator da barragem (ver Eq.). Este relatório atualizou a relação de lei de potência com quatro pontos de dados adicionais do Center for Science in Public Participation [[Centro para a Ciência na Participação Pública] (2025) (ver Tabela 15), resultando em uma diminuição na distância de escoamento para um determinado fator de barragem. Com exceção das barragens de rejeitos que ainda não armazenam nenhum rejeito, os fatores das barragens na mina MRN variam de 0,3 a 38,0 $m \times 10^6 m^3$. Como esses fatores se encontram no meio da faixa dos dados utilizados para desenvolver o modelo estatístico, o modelo deve ser considerado altamente confiável para a mina MRN.

Tabela 16. Previsões de cenários prováveis e de pior caso para volumes de liberação e distâncias de escoamento resultantes de rupturas de barragens de rejeitos na mina Mineração Rio do Norte^{1,2}

Nome	Volume de Liberação Provável (Mm ³)	Fator de Barragem Provável (m × 10 ⁶ m ³)	Distância de Escoamento Provável (km)	Fator de Barragem de Pior Caso (m × 10 ⁶ m ³)	Distância de Escoamento de Pior Caso (km)
Rejeitos Convencionais					
TP1	2,80	21,27	14,2	176,99	43,2
TP2	2,96	20,00	13,7	166,80	41,9
TP3	0,15	0,92	2,7	6,68	7,7
Rejeitos Espessados					
SP1	0,72	4,64	6,4	36,36	18,8
SP2_3	2,07	16,76	12,5	137,58	37,8
SP4 Norte	2,30	21,18	14,1	174,68	42,9
SP4 Sul	1,94	16,65	12,4	136,27	37,7
SP5 Leste	1,70	11,35	10,2	92,39	30,7
SP5 Oeste	2,54	20,29	13,8	168,07	42,1
SP6	0,17	1,02	2,9	7,47	8,2
SP7A	1,19	8,83	8,9	70,70	26,7
SP7B	2,15	16,96	12,6	139,46	38,1
SP7C	2,94	32,24	17,6	268,80	53,9
SP8	4,62	37,99	19,2	323,30	59,4
SP9	3,58	32,73	17,8	275,34	54,5
SP9A	0,81	6,07	7,3	47,75	21,7
SP10	2,60	14,43	11,5	119,65	35,2
SP11	2,50	20,79	14,0	172,16	42,6
SP12	1,90	12,48	10,7	102,04	32,3
SP13	1,03	5,49	6,9	43,67	20,7
SP14	1,21	9,54	9,3	76,47	27,8
SP15	1,81	12,97	10,9	105,86	33,0
SP16	2,93	18,24	13,1	152,11	39,9
SP19	0,57	4,60	6,3	35,69	18,6
SP-24A	0,00	—	—	0,00	0,0
SP-24B	0,00	—	—	0,00	0,0
SP-24C	0,00	—	—	0,00	0,0
SP-25A	0,13	0,34	1,6	2,45	4,5
SP-25B	0,12	0,30	1,5	2,16	4,2
SP-25C	0,22	0,56	2,1	4,17	6,0

¹Previsões baseadas nos dados da Tabela 2a e no modelo empírico de Eqs. e de Figs 22a-b.

²A cor vermelha indica as distâncias de escoamento prováveis maiores do que para TP1 ou TP2. A cor azul indica as distâncias de escoamento prováveis menores do que para TP1 ou TP2, mas os volumes de liberação prováveis maiores do que para TP1 ou TP2.

O uso das Eqs. (1), (5) e (6) prevê, portanto, que, com base unicamente na altura da barragem e no volume de armazenamento, as barragens SP4 Norte, SP5 Oeste, SP7C, SP8, SP9 e SP11 apresentarão distâncias de escoamento superiores às de TP1 ou TP2 (ver Tabela 16). As mesmas equações preveem que a barragem SP16 apresentará um volume de liberação provável superior ao de TP1 ou TP2 (ver Tabela 16). Outras sete barragens de rejeitos (SP2_3, SP4 Sul, SP5 Leste, SP7B, SP10, SP12, SP15) apresentam distâncias de escoamento prováveis previstas que excedem 10 quilômetros, de modo que suas distâncias de escoamento são, no mínimo, comparáveis às distâncias de escoamento previstas para TP1 e TP2, de 14,2 e 13,7 quilômetros, respectivamente (ver Tabela 16).

À exceção de SP8, SP9 e SP4 Norte, que, certamente, deveriam ser classificados como DPA Alta, a classificação adequada das demais barragens de rejeitos SP é dificultada pelo desconhecimento da trajetória dos rejeitos e pela falta de informações sobre como os consultores da MRN determinaram os impactos ambientais e socioeconômicos das barragens de rejeitos TP1 e TP2 (ver Tabelas A5 e B5). Por outro lado, deve-se notar também que, apesar da grande proximidade das barragens de rejeitos, não foi considerada a possibilidade de falhas em cascata ou, simplesmente, a possibilidade de que um mesmo evento de precipitação extrema resulte na ruptura simultânea de múltiplas barragens. Em outras palavras, é provável que a falha de qualquer barragem de rejeitos cause, ou seja apenas acompanhada pela, falha de múltiplas barragens de rejeitos. Com base unicamente no exposto acima e na ausência de qualquer informação adicional, deve-se presumir que todas as barragens de rejeitos da mina MRN devem ser enquadradas na faixa de classificação DPA Alta.

6: Os Planos de Ação de Emergência são Inadequados

Entre 2017 e 2022, as regulamentações brasileiras foram fortalecidas no que tange à necessidade de descrever integralmente os potenciais impactos sobre as comunidades a jusante no Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM). A ANM (2017) exige “Síntese do estudo de inundação com os respectivos mapas, indicação da ZAS e ZSS assim como dos pontos vulneráveis potencialmente afetados”. A “Zona de Autossalvamento” (ZAS) é definida como a “região do vale à jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são da responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situações de emergência, devendo-se adotar a maior das seguintes distâncias para a sua delimitação: a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km”. A “Zona de Segurança Secundária” (ZSS) é definida como a “região constante do Mapa de Inundação, não definida como ZAS”.

A ANM (2022) também exige “Síntese do estudo de inundação com os respectivos mapas, indicação da ZAS e ZSS”. A ANM (2022) lista então o requisito adicional das “Medidas específicas, em articulação com o Poder Público, para resgatar atingidos, pessoas e animais, para mitigar impactos ambientais, para assegurar o abastecimento de água potável e para resgatar e salvaguardar o patrimônio cultural”. As regulamentações mais recentes exigem, portanto, no mínimo, uma descrição dos potenciais impactos ambientais, bem como dos impactos sobre o abastecimento de água e o patrimônio cultural.

Em contraste com o fortalecimento das regulamentações, há consideravelmente mais informações sobre potenciais impactos ambientais nos Planos de Ação de Emergência divulgados antes de 2022 do que naqueles divulgados após 2022. O Plano de Ação de Emergência

combinado para as barragens de rejeitos TP1 e TP2, divulgado em 2018, lista os sete potenciais impactos de uma falha a seguir, além da perda de vidas (BVP Engenharia, 2018c):

- “inundação das matas ciliares no entorno dos talvegues;
- erosão das margens dos talvegues logo a jusante;
- possíveis problemas com o uso da água;
- interrupções nos acessos locais de terra;
- assoreamento dos cursos de água a jusante das barragens, com deposição de rejeitos no leito a jusante e possível alteração da calha principal dos córregos/rios em alguns trechos;
- destruição da camada vegetal e do habitat natural da fauna, remoção do solo de cobertura, deposição de rejeitos, destruição de vida animal, biota aquática, e demais prejuízos à fauna e flora características da região;
- destruição de parte das construções na área da mineração”.

O Plano de Ação de Emergência continua, “Quando da ocorrência da ruptura, os danos indicados pelos mapas de inundação mostram que o material percorrerá os talvegues, alcançando o córrego Saracá. Além do impacto físico de propagação da onda de ruptura, haverá o carreamento de material sólido, afetando assim sua qualidade. Sabendo que existe grande ocupação no entorno do lago Sapucuá, que recebe as águas provindas do córrego Saracá, ocorrerá o comprometimento do uso dessas águas até que seja restabelecido o padrão de qualidade definido pelo CONAMA” (BVP Engenharia, 2018c). Além disso, “De maneira imediata, espera-se que ocorrerão impactos no fornecimento de água potável e na disponibilidade do curso d’água para a prática da pesca, sendo esses os aspectos iniciais que a MRN deve se preocupar junto à comunidade local” (BVP Engenharia, 2018c).

Em contrapartida, as versões de 2023 e 2025 dos Planos de Ação de Emergência combinados para TP1 e TP2 listam os nove potenciais impactos de falha a seguir, além da perda de vidas (Pimenta de Ávila Consultoria, 2023, 2025):

- Impactos em Área de Preservação Permanente (APP) nas faixas marginais ao leito dos cursos d’água;
- Interrupção do tráfego em acessos locais que estão situados ao longo dos cursos de água afetados, com possibilidade de danos estruturais aos mesmos;
- Assoreamento do vale imediatamente à jusante da estrutura, com deposição de sedimentos nos leitos e possível alteração da calha principal dos cursos d’água;
- Pluma de turbidez ao longo dos corpos hídricos considerados;
- Impactos significativos, como inundações nas propriedades rurais ao longo do vale a jusante, com danos a plantações;
- Destruição da camada vegetal e do habitat, remoção do solo de cobertura, destruição de vida animal, biota aquática e demais prejuízos à fauna e flora características da região;
- Paralisação das atividades da MRN;
- Impactos negativos na imagem da MRN;
- Impactos financeiros e multas ambientais.”

Uma comparação da lista de impactos ambientais entre os Planos de Ação de Emergência de 2018 e 2023/2025 mostra que os planos mais recentes não incluem mais “possíveis problemas com o uso da água”. Embora os Planos de Ação de Emergência de 2023/2025 listem mais impactos, os últimos quatro dizem respeito exclusivamente à empresa mineradora. Além disso, embora o Plano de Ação de Emergência de 2018 não contivesse um grande volume de explicações adicionais a respeito da perda de abastecimento de água e da perda de recursos

pesqueiros, tal explicação está totalmente ausente nos Planos de Ação de Emergência de 2023/2025. Em suma, houve uma considerável rebaixamento na avaliação dos impactos ambientais entre 2018 e 2023/2025, a despeito do fortalecimento dos requisitos ocorrido em 2022. Vale ressaltar que nenhuma versão do Plano de Ação de Emergência propôs medidas concretas que pudessem ser adotadas para minimizar os impactos a jusante, seja antes ou depois da falha da barragem de rejeitos. Além disso, nenhuma versão do Plano de Ação de Emergência abordou os impactos sobre o patrimônio cultural, o que constitui uma exigência da regulamentação de 2022 (ANM, 2022).

Foi apontado que o Plano de Ação de Emergência exige um mapa de inundação que delimite a ZAS (Zona de Autossalvamento) em relação à ZSS (Zona de Segurança Secundária). Visto que a extensão a jusante da Zona de Autossalvamento corresponde à maior de duas distâncias (10 quilômetros e a distância correspondente a um tempo de chegada da onda de rejeitos de 30 minutos), a delimitação da Zona de Autossalvamento requer uma análise precisa de ruptura de barragem. Assim, outra consequência das análises não confiáveis de ruptura de barragens para as barragens de rejeitos da mina MRN é que as Zonas de Autossalvamento de cada barragem de rejeitos não são, de fato, conhecidas. Em particular, dado que as velocidades dos rejeitos foram subestimadas (ver Tabela 14), todas as Zonas de Autossalvamento deveriam ser maiores do que aquelas efetivamente representadas nos Planos de Ação de Emergência da mina MRN. De fato, uma vez que a velocidade mediana dos rejeitos é de 35 quilômetros por hora (ver Tabela 13), a distância típica a jusante para a Zona de Autossalvamento deveria ser de 17,5 quilômetros, e não de 10 quilômetros.

As regulamentações brasileiras sobre rejeitos (ANM, 2022) contêm diversas restrições referentes ao que pode e ao que deve ser feito caso haja uma população residindo na Zona de Autossalvamento, o que, naturalmente, exige o conhecimento da extensão da Zona de Autossalvamento. Alguns exemplos dessas restrições incluem:

- 1) Nenhuma nova barragem de rejeitos poderá ser construída, o que é especialmente importante para um complexo minerário, como a MRN, que tem construído continuamente novas barragens de rejeitos.
- 2) Toda a Zona de Autossalvamento deverá ser evacuada caso uma barragem de rejeitos seja classificada no Nível de Emergência 2.
- 3) Sistemas automatizados de acionamento de sirenes devem ser instalados fora da ZAS, de modo que possam ser ouvidos em toda a extensão da ZAS.
- 4) Devem ser realizados anualmente “Seminários Orientativos” com a população residente na Zona de Autossalvamento.

É importante ressaltar que não há absolutamente nada nas regulamentações brasileiras que sugira que não seja necessário considerar os riscos às comunidades situadas fora da ZAS.

CONCLUSÕES RESUMIDAS

As seis perguntas relativas às barragens de rejeitos da mina MRN, que foram apresentadas na seção “Perguntas”, são repetidas abaixo, seguidas de respostas muito breves. Respostas mais completas podem ser encontradas na seção “Respostas”.

1) As barragens de rejeitos foram construídas de acordo com os padrões da indústria?

Não, com uma inclinação típica do talude externo de 1V:1,5H (1 metro vertical para 1,5 metros horizontal), as barragens de rejeitos são excessivamente íngremes. Em contraste, a inclinação

máxima recomendada para barragens de terra pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA é de 1V:5H e a inclinação máxima recomendada para barragens de rejeitos pela Comissão Europeia e pelo livro-texto padrão sobre barragens de rejeitos é de 1V:3H. Embora o Brasil não possua regulamentação quanto à inclinação máxima permitida, uma inclinação superior a 1V:2H corresponde à pontuação mais alta (maior probabilidade de falha) para aquela característica específica da Categoria de Risco.

2) *As barragens de rejeitos foram classificadas corretamente em termos do método de construção?*

Não, o site atual da ANM lista apenas duas barragens de rejeitos (SP2_3 e SP6) como construídas pelo método a montante, no qual a barragem é construída sobre os rejeitos não compactados. No entanto, um relatório de consultoria de 2021 para a empresa indicou que o método a montante era o método genérico para todas as barragens de rejeitos da mina MRN. Com base nas seções transversais disponíveis e nas alterações nas informações do site da ANM, é muito provável que pelo menos 17 das barragens de rejeitos tenham sido construídas usando o método a montante, incluindo 13 que ainda estão recebendo rejeitos ativamente. É difícil conciliar as alterações no método de construção declarado no site da ANM com as declarações relativas à documentação do projeto, como a alteração da barragem de rejeitos TP2, em operação desde janeiro de 2002, do método a montante para o método de etapa único em julho de 2019, juntamente com a informação atual de que a empresa mineira possui tanto a documentação original do projeto detalhado quanto a documentação original “como construído” (que deveria descrever e explicar quaisquer alterações entre o projeto original e o que foi efetivamente construído).

3) *As faixas de classificação para a Categoria de Risco foram indicadas corretamente?*

Não, das 30 barragens de rejeitos, cinco (TP1, TP2, SP4 Norte, SP7A, SP7C) são classificadas na Categoria de Risco Médio, e as demais na Categoria de Risco Baixo, de acordo com o sistema de pontuação previsto nas regulamentações brasileiras, que leva em consideração dez Características Técnicas, cinco aspectos do Estado de Conservação e cinco aspectos do Plano de Segurança de Barragens. O site da ANM atribui a todas as barragens de rejeitos a pontuação mais baixa (menor probabilidade de falha) para a vazão de projeto correspondente ao projeto para a Cheia Máxima Provável (CMP) ou para a cheia com tempo de retorno de 10.000 anos. No entanto, não há documentação disponível que demonstre que alguma das barragens de rejeitos tenha borda livre suficiente para conter a cheia de 10.000 anos, e todos os Planos de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM) afirmam que a causa mais provável de falha é o galgamento durante uma cheia de 10.000 anos. Se a pontuação for alterada para refletir uma vazão de projeto desconhecida e o método de construção a montante, conforme apropriado, então 16 barragens de rejeitos devem ser classificadas na Categoria de Risco Médio, e as restantes na Categoria de Risco Baixo.

4) *Os resultados das análises computacionais de ruptura da barragem são consistentes com as falhas anteriores de barragens de rejeitos?*

Não, as análises computacionais de ruptura de barragem que servem de base para os Planos de Ação de Emergência são irrealistas, pois as velocidades previstas para os rejeitos são irrealisticamente baixas. As velocidades médias previstas para os rejeitos resultantes de rupturas das barragens TP1 e TP2 foram de 0,69 a 1,52 quilômetros por hora para rupturas sem cheia e de 1,47 a 2,71 quilômetros por hora para ruptura devido a uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos. Em contrapartida, a velocidade mediana dos rejeitos em falhas anteriores foi de 35 quilômetros por hora, e mesmo a velocidade normal de um curso d'água sem cheias é de 5 quilômetros por hora.

5) *As faixas de classificação para o Dano Potencial Associado foram indicadas corretamente?*

Não, com base nas análises de ruptura de barragens e em um sistema de pontuação que leva em consideração o volume do reservatório de rejeitos, a existência de uma população a jusante, o impacto ambiental e o impacto socioeconômico, as barragens de rejeitos TP1 e TP2 receberam a classificação de Dano Potencial Associado (DPA) Alto, enquanto todas as outras barragens de rejeitos receberam a classificação Médio. As pontuações para a existência de uma população a jusante e para impacto socioeconômico foram arbitrárias, visto que múltiplas análises de ruptura de barragem para outras barragens de rejeitos, além de TP1 e TP2, também mostraram a chegada da inundação de rejeitos à comunidade de Sapucuá. Além disso, enquanto as análises de ruptura de barragem para TP1 e TP2 assumiram o galgamento das barragens durante uma cheia com tempo de retorno de 10.000 anos, com uma cheia com tempo de retorno de 100 anos ocorrendo nos cursos d'água a jusante (uma contradição absurda), as análises de ruptura de barragem para as demais barragens de rejeitos assumiram vazão normal nos cursos d'água a jusante. Deve-se notar também que, apesar da proximidade das barragens de rejeitos, não foi considerada a possibilidade de rupturas em cascata ou simplesmente a possibilidade de que o mesmo evento de precipitação extrema possa resultar na ruptura simultânea de múltiplas barragens. Em resumo, deve-se assumir que todas as barragens de rejeitos da mina MRN devem ser classificadas como de Dano Potencial Associado (DPA) Alto.

6) *As barragens de rejeitos possuem Planos de Ação de Emergência adequados?*

Não, apesar do fortalecimento das regulamentações brasileiras em 2022 quanto à necessidade de descrever integralmente os potenciais impactos nas comunidades a jusante no PAEBM, havia consideravelmente mais informações disponíveis no PAEBM de 2018 para TP1 e TP2 do que nas versões de 2023 ou 2025 do PAEBM. Tanto a versão anterior quanto as posteriores do PAEBM chamaram a atenção para a potencial perda de vidas humanas, o assoreamento dos cursos d'água a jusante e a alteração dos canais dos rios, a inundação de propriedades rurais e campos agrícolas, e a destruição da vida aquática. No entanto, o PAEBM de 2018 também enfatizou a potencial perda do uso dos cursos d'água a jusante pela população local, incluindo a perda de água potável e a perda da pesca como fonte de alimento e atividade econômica. Nenhuma versão do PAEBM propôs medidas concretas que poderiam ser tomadas para minimizar os impactos a jusante, seja antes ou depois da falha da barragem de rejeitos.

RECOMENDAÇÕES

Este relatório apresenta as seguintes recomendações à empresa Mineração Rio do Norte::

- 1) Para todas as barragens de rejeitos, devem ser construídos contrafortes de forma que os taludes externos não apresentem inclinação superior a 1V:5H. As barragens de rejeitos para as quais não for possível construir tais contrafortes devem ser fechadas de forma segura.
- 2) As barragens de rejeitos cujos alteamentos são construídos sobre rejeitos não compactados devem ser corretamente identificadas como barragens a montante e devem ser descaracterizadas de acordo com a regulamentação brasileira.
- 3) As Categorias de Risco para todas as barragens de rejeitos devem ser corretamente classificadas no site da ANM para indicar o método de construção adequado e a vazão de projeto correta.
- 4) Todas as análises computacionais existentes sobre a ruptura de barragens devem ser reavaliadas para descobrir a origem da discrepância entre as velocidades de inundação de rejeitos previstas e as velocidades de inundação de rejeitos típicas observadas em falhas anteriores de barragens de rejeitos.
- 5) Para todas as barragens de rejeitos, as análises de ruptura da barragem devem ser realizadas de forma a minimizar ou explicar completamente quaisquer discrepâncias entre as velocidades de inundação de rejeitos previstas e as velocidades de inundação de rejeitos típicas observadas em falhas anteriores de barragens de rejeitos.
- 6) A integridade do aterro rodoferroviário e da galeria de drenagem em resposta a uma inundação com tempo de retorno de 10.000 anos deve ser avaliada. Caso não seja possível comprovar que o aterro rodoferroviário e a galeria de drenagem suportariam uma inundação com tempo de retorno de 10.000 anos, análises de ruptura da barragem devem ser realizadas, considerando a falha do aterro ferroviário.
- 7) Para o caso de ruptura devido ao galgamento durante uma inundação com tempo de retorno de 10.000 anos, o fluxo correspondente a uma inundação de 10.000 anos também deve ser aplicado aos cursos d'água a jusante para ambas as barragens de rejeitos TP e SP.
- 8) Com base no exposto anteriormente, os Danos Potenciais Associados (DPA) para todas as barragens de rejeitos devem ser avaliados corretamente no site da ANM.
- 9) Para todas as barragens de rejeitos, o Plano de Ação de Emergência deve contemplar a potencial perda do uso dos cursos d'água a jusante pela população local, incluindo a perda de água potável e a perda da pesca, tanto como fonte de alimento quanto como atividade econômica.
- 10) Para todas as barragens de rejeitos, o Plano de Ação de Emergência deve incluir medidas concretas que devem ser tomadas para minimizar os impactos a jusante, tanto antes quanto depois de uma falha da barragem de rejeitos.

SOBRE O AUTOR

O Dr. Steven H. Emerman tem um B.S. em Matemática pela Universidade Ohio State, M.A. em Geofísica pela Universidade Princeton, e Ph.D. em Geofísica da Universidade Cornell. O Dr. Emerman tem 31 anos de experiência no ensino de hidrologia e geofísica, incluindo o ensino como professor Fulbright no Equador e no Nepal, e tem 70 publicações avaliadas por pares nessas áreas. Desde 2018, o Dr. Emerman é proprietário da Malach Consulting, especializada em avaliar os impactos ambientais da mineração para empresas de mineração, bem como organizações governamentais e não-governamentais. O Dr. Emerman avaliou instalações de armazenamento de rejeitos propostos e existentes na América do Norte, América do Sul, Europa, África, Ásia e Oceania, e testemunhou sobre instalações de armazenamento de rejeitos perante o Subcomitê de Povos Indígenas dos Estados Unidos da Câmara dos Representantes dos Estados Unidos, o Parlamento Europeu, o Fórum Permanente das Nações Unidas sobre Questões Indígenas, a Assembleia das Nações Unidas para o Ambiente, a Comissão Permanente dos Direitos Humanos da Câmara dos Deputados da República Dominicana e o Comitê de Meio Ambiente, Clima e Legado do Senado de Minnesota. O Dr. Emerman é o ex-presidente do Subcomitê do Corpo de Conhecimento da Sociedade de Barragens dos EUA e um dos autores de A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração.

Steven H. Emerman

REFERÊNCIAS

- ANCOLD (Australian National Committee on Large Dams [Comitê Nacional Australiano sobre Grandes Barragens]), 2012. Guidelines on tailings dams—Planning, design, construction, operation and closure [Diretrizes sobre barragens de rejeitos — Planejamento, projeto, construção, operação e fechamento], 84 p. Disponível online em: <https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/ancold-2012.pdf>
- ANCOLD (Australian National Committee on Large Dams [Comitê Nacional Australiano sobre Grandes Barragens]), 2019. Guidelines on tailings dams—Planning, design, construction, operation and closure—Addendum—July 2019 [Diretrizes sobre barragens de rejeitos — Planejamento, projeto, construção, operação e fechamento—Adendo—julho de 2019, 11 p. Disponível online em: <https://www.ancold.org.au/wp-content/uploads/2019/07/Tailings-Guideline-Addendum-July-2019.pdf>
- Andrade, L.M.M. de, 2018. Antes a água era cristalina, pura e sadia—Percepções quilombolas e ribeirinhas dos impactos e riscos da mineração em Oriximiná, Pará: Comissão Pró-Índio de São Paulo, outubro de 2018, 86 p. Disponível online em: https://cpisp.org.br/wp-content/uploads/2019/02/Antes_agua_era_cristalina.pdf
- Angelo, M., 2024. REVEALED—Records show dozens of changes in Mineração Rio do Norte (MRN) tailings dams in Pará and communities fear disasters [REVELADO: Registros mostram dezenas de alterações em barragens de rejeitos da Mineração Rio do Norte (MRN), no Pará, e comunidades temem desastres]: Observatório da Mineração, 1 de fevereiro de 2024. Disponível online em: <https://observatoriodamineracao.com.br/revealed-records-show-dozens-of-changes-in-mineracao-rio-do-norte-mrn-tailings-dams-in-para-and-communities-fear-disasters/>

- ANM (Agência Nacional de Mineração), 2017. Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017— Versão com retificações de 05/06/2017, 10/11/2017, Resolução ANM nº 13/2019, de 08/08/2019, Resolução ANM nº 32/2020, de 11/05/2020 e retificação dessa resolução em 21/05/2020, Resolução nº 40/2020, de 06/07/2020, 44 p. Disponível online em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/portaria-dnmp-no-70-389-de-17-de-maio-de-2017>
- ANM (Agência Nacional de Mineração), 2019a. Resolução nº 4, de 15 de fevereiro de 2019, 5 p. Disponível online em: https://www.dnmp-pe.gov.br/Legisla/Res_4_19.htm
- ANM (Agência Nacional de Mineração), 2019b. Resolução nº 13, de 8 de agosto de 2019, 6 p. Disponível online em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-13-de-8-de-agosto-de-2019-210037027>
- ANM (Agência Nacional de Mineração), 2022. Resolução ANM nº 95, de 07 de fevereiro de 2022—Com alterações da Resolução ANM nº 130/2023 e Resolução ANM nº 175/2024, 51 p. Disponível online em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/resolucao-no-95-2022.pdf>
- ANM (Agência Nacional de Mineração), 2025. Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM)—Versão Pública. Disponível online no Brasil em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/aceso-a-sistemas/sistema-integrado-de-gestao-de-barragens-de-mineracao-sigbm-versao-publica>
- Assembleia Legislativa de Minas Gerais, 2019. Legislação Mineira (Lei 23291, de 25/02/2019). Disponível online em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=23291&ano=2019>
- Association of State Dam Safety Officials [Associação de Funcionários Estaduais de Segurança de Barragens], 2025. Lessons Learned—High and significant hazard dams should be designed to pass an appropriate design flood. Dams constructed prior to the availability of extreme rainfall data should be assessed to make sure they have adequate spillway capacity. [Lições Aprendidas—Barragens com potencial de causar danos altos e significativos devem ser projetadas para suportar uma cheia de projeto adequada. As barragens construídas antes da disponibilidade de dados sobre chuvas extremas devem ser avaliadas para garantir que possuam capacidade de vertedouro suficiente]. Disponível online em: <https://damfailures.org/lessons-learned/high-and-significant-hazard-dams-should-be-design-to-pass-an-appropriate-design-flood-dams-constructed-prior-to-the-availability-of-extreme-rainfall-data-should-be-assessed-to-make-sure-they-have-ad>
- Bentaher, L., 2012. Prediction of peak breach outflow, and breach parameters for embankment dams using fuzzy logic and artificial neural network techniques [Previsão do fluxo máximo de vazão em caso de ruptura e dos parâmetros da ruptura para barragens de aterro utilizando lógica difusa e técnicas de redes neurais artificiais]: Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Irrigação e Hidráulica, Universidade do Cairo., 152 p. Disponível online em: https://www.researchgate.net/publication/330113598_Prediction_of_Peak_Breach_Outflow_and_Breach_Parameters_for_Embankment_Dams_Using_Fuzzy_Logic_and_Artificial_Neural_Network_Techniques
- Blight, G., 2010. Geotechnical engineering of mine waste storage facilities [Engenharia geotécnica de instalações de armazenamento de resíduos de mineração]: CRC Press, Boca Raton, Flórida, 634 p.

- Borges, T. e S. Branford, 2020. Traditional villages dread living in shadow of Amazon tailings dams [Aldeias tradicionais temem viver à sombra das barragens de rejeitos na Amazônia.]: Mongabay, 9 de julho de 2020. Disponível online em: <https://news.mongabay.com/2020/07/traditional-villages-dread-living-in-shadow-of-amazon-tailings-dams/>
- BVP Engenharia, 2018a. UP-00 Área Geral do Projeto—Estudo de Ruptura Hipotética das Barragens—Relatório da Ruptura Hipotética da Barragem TP01: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, Projeto Trombetas, Projeto— Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QC5-BVP-00-02-010-RT, N° Doc. Projetista MN 015-16-C-BA-RT-07-010, Rev. 4, 15 de junho de 2018, 88 p.
- BVP Engenharia, 2018b. UP-00 Área Geral do Projeto—Estudo de Ruptura Hipotética das Barragens—Relatório da Ruptura Hipotética da Barragem TP 02: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, Projeto Trombetas, Projeto— Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QC5-BVP-00-02-012-RT, N° Doc. Projetista MN 015-16-C-BA-RT-07-012, Rev. 4, 15 de junho de 2018, 85 p.
- BVP Engenharia, 2018c. UP-00 Área Geral do Projeto—Estudo de Ruptura Hipotética das Barragens—Relatório de Plano de Ações Emergenciais - TP1 e TP2: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, Projeto Trombetas, Projeto—Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QC5-BVP-00-02-014-RT, N° Doc. Projetista MN 015-16-C-BA-RT-07-014, Rev. 4, 1 de julho de 2018, 80 p.
- Canadian Dam Association [Associação Canadense de Barragens], 2019. Application of dam safety guidelines to mining dams (2019 edition) [Aplicação das diretrizes de segurança de barragens a barragens de mineração (edição de 2019)], 61 p.
- Canadian Dam Association [Associação Canadense de Barragens], 2021. Technical Bulletin—Tailings dam breach analysis [Boletim Técnico—Análise de ruptura de barragem de rejeitos], 68 p.
- Center for Science in Public Participation [Centro para a Ciência na Participação Pública], 2025. TSF Failures 1915-15Apr25 [Falhas da TSF 1915-15 de abril de 25]: MS Excel spreadsheet [MS Excel spreadsheet]. Disponível online em: <http://www.csp2.org/tsf-failures-from-1915>
- Clohan, D. e E. Kidner, 2022. Chapter 14—Tailings breach studies and inundation mapping [Capítulo 14—Estudos de ruptura de barragens de rejeitos e mapeamento de inundações.]: Em K.F. Morrison (Ed.), Tailings management handbook—A life-cycle approach [Manual de gestão de rejeitos de mineração—Uma abordagem de ciclo de vida] (pp. 211-220), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade para Mineração, Metalurgia e Exploração], Englewood, Colorado, 1004 p.
- DAM, 2020a. UP 26 - Sistema de Rejeitos e Recuperação de Finos (Mina/Porto)—Mineração - Barragens Mina—Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM) - Reservatório de Rejeitos Adensados SP-16: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, ID Projeto—PGB06, Fase—Fase IV – Produção de 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QD5-DAM-26-20-584-RT, N° Doc. Projetista CDC-C-PT-RE-004, Rev. 3, 8 de dezembro de 2020, 112 p.
- DAM, 2020b. UP 26 - Sistema de Rejeitos e Recuperação de Finos (Mina/Porto)—Mineração - Barragens Mina—Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM) - Reservatório de Rejeitos Adensados SP-6, SP-8 e SP-9: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, ID Projeto—PGB06, Fase—Fase IV – Produção de 16,3 mtpa –

- Melhorias, Nº Doc. MRN QD5-DAM-26-20-583-RT, Nº Doc. Projetista CDC-C-PT-RE-003, Rev. 3, 8 de dezembro de, 2020, 140 p.
- DAM, 2020c. UP 26 - Sistema de Rejeitos e Recuperação de Finos (Mina/Porto)—Mineração - Barragens Mina—Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM) - Reservatório de Rejeitos Adensados SP-1 e SP2/3: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, ID Projeto—PGB06, Fase—Fase IV – Produção de 16,3 mtpa – Melhorias, Nº Doc. MRN QD5-DAM-26-20-581-RT, Nº Doc. Projetista CDC-C-PT-RE-001, Rev. 3, 8 de dezembro de 2020, 126 p.
- D’Andrea, P., 2023. Relatório—Análise dos impactos previstos às comunidades ribeirinhas no caso do rompimento das barragens TP1 e TP2 presentes no PAEBM 2018 e nos Estudos de Ruptura Hipotética 2021: Versão Final, 28 de fevereiro de 2023, 53 p.
- Darling, P., 2023. Chapter 1—Current state of underground mining [Capítulo 1—Estado atual da mineração subterrânea]: Em P. Darling (Ed.), SME Underground Mining Handbook [Manual de Mineração Subterrânea da SME] (pp. 1-12), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade para Mineração, Metalurgia e Exploração], Englewood, Colorado, 782 p.
- Davies, M.P., 2002. Tailings impoundment failures—Are geotechnical engineers listening? [Falhas em barragens de rejeitos—Os engenheiros geotécnicos estão prestando atenção?]: Geotechnical News [Notícias de Geotecnia], novembro de 2002, pp. 31-36. Disponível online em: https://miningquiz.com/pdf/Impoundments/Dam_failuresDavies2002.pdf
- Davies, M.P., P.C. Lighthall, S. Rice, e T.E. Martin, 2002. Design of tailings dams and impoundments [Projeto de barragens e reservatórios de rejeitos]: Keynote Address, Tailings and Mine Waste Practices, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Annual General Meeting [Discurso principal, Práticas de gestão de rejeitos e resíduos de mineração, Reunião Geral Anual da Sociedade de Mineração, Metalurgia e Exploração], 18 p.
- Diário Oficial da União, 2024. Resolução CNRH Nº 241, de 10 de setembro de 2024: Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional/Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 10 p. Disponível online em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/cnrh-no-241-2024.pdf>
- Dobry, R. e L. Alvarez, 1967. Seismic failures of Chilean tailings dams [Falhas sísmicas em barragens de rejeitos no Chile]: Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers [Revista da Divisão de Mecânica dos Solos e Fundações, Sociedade Americana de Engenheiros Civis], vol. 93, pp. 237-260.
- DoITPoMS (Dissemination of IT for the Promotion of Materials Science [Disseminação da Tecnologia da Informação para a Promoção da Ciência dos Materiais]), 2025. Liquefaction [Liquefação]. Disponível online em: https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/granular_materials/liquefaction.php
- Elementary Engineering Library [Biblioteca de Engenharia Elementar], 2020. Piping Failure in Hydraulic Structures [Falha na Tubificação em Estruturas Hidráulicas]. Disponível online em: <https://elementaryengineeringlibrary.com/civil-engineering/soil-mechanics/piping-failure-in-hydraulic-structures/>
- Fell, R., P. MacGregor, D. Stapledon, G. Bell, e M. Foster, 2015. Geotechnical engineering of dams [Engenharia geotécnica de barragens], 2ª edição: CRC Press, 1348 p.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency (U.S.) [Agência Federal de Gestão de Emergências (EUA)]), 2025. Tailings dam safety best practices [Melhores práticas de

- segurança em barragens de rejeitos]: April 2025 Final Draft for Limited Release [Abril de 2025 —Versão Final para Lançamento Limitado], 350 p.
- Fisher, W., T. Camp, e V. Krzhizhanovskaya, 2017. Anomaly detection in earth dam and levee passive seismic data using support vector machines and automatic feature selection [Detecção de anomalias em dados sísmicos passivos de barragens e diques utilizando máquinas de vetores de suporte e seleção automática de características]: Journal of Computational Science [Revista de Ciência Computacional], vol. 20, pp. 143-153. Disponível online em: https://www.researchgate.net/publication/311357951_Anomaly_Detection_in_Earth_Dam_and_Levee_Passive_Seismic_Data_Using_Support_Vector_Machines_and_Automatic_Feature_Selection
- Franks, D.M., M. Stringer, L.A. Torres-Cruz, E. Baker, R. Valenta, K. Thygesen, A. Matthews, J. Howchin e S. Barrie, 2021. Tailings facility disclosures reveal stability risks [Divulgações sobre instalações de rejeitos revelam riscos de estabilidade]: Nature Scientific Reports [Relatórios Científicos de Natureza], vol. 11, 7 p. Disponível online em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-84897-0>
- Fuller, M., 2019. The infamous legacy of upstream dams [O legado infame das barragens a montante]: Webinar da SME (Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade para Mineração, Metalurgia e Exploração]), 1:15:22, apresentado em 3 de setembro de 2019.
- Garbarino, E., G. Orveillon, H.G.M. Saveyn, P. Barthe, e P. Eder, 2018. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the management of waste from extractive industries in accordance with Directive 2006/21/EC [Documento de Referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) para a gestão de resíduos da indústria extrativa, em conformidade com a Diretiva 2006/21/CE]: European Commission Joint Research Centre Science for Policy Report [Relatório do Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia sobre Ciência para Políticas Públicas], EUR 28963 EN, 722 pp. Disponível online em: <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/mining/MWEI%20BREF.pdf>
- GeotechniCAL, 2025. Stress in the ground [Tensão no solo]. Disponível online em: <http://environment.uwe.ac.uk/geocal/SoilMech/stresses/stresses.htm>
- Golder, 2021a. UP 00 – Área Geral do Projeto—Estudo de Ruptura Hipotética do Sistema de Disposição de Rejeitos e das Barragens de Contenção de Sedimentos, Lavra Levantamento, Estudos e Perfis—Relatório Técnico – Estudo de Dam Break – TP1 Parede Norte: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, ID Projeto—PGB01, Fase—Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QD5-GOD-00-23-011-RT, N° Doc. Projetista RT-011_199-515-2368_01-B, Rev. 1, 13 de março de 2021, 70 p.
- Golder, 2021b. UP 00 – Área Geral do Projeto—Estudo de Ruptura Hipotética do Sistema de Disposição de Rejeitos e das Barragens de Contenção de Sedimentos, Lavra Levantamento, Estudos e Perfis—Relatório Técnico – Estudo de Dam Break – TP2 Parede Sul: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, ID Projeto—PGB01, Fase—Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QD5-GOD-00-23-013-RT, N° Doc. Projetista RT-011_199-515-2368_01-B, Rev. 0, 13 de março de 2021, 77 p.
- Holtz, R.D., W.D. Kovacs, e T.C. Sheahan, 2011. An introduction to geotechnical engineering [Uma introdução à engenharia geotécnica], 2ª edição: Pearson, 863 p.

- Hopkins, A. e D. Kemp, Credibility crisis—Brumadinho and the politics of mining industry reform [Crise de credibilidade: Brumadinho e a política de reforma da indústria de Mineração]: Wolters Kluwer, 176 p.
- ICMM (International Council on Mining & Metals [Conselho Internacional de Mineração e Metais]), 2021. Conformance Protocols—Global Industry Standard on Tailings Management [Protocolos de Conformidade—Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos], 110 p. Disponível online em: <https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/environmentalstewardship/2021/tailings-conformance-protocols.pdf?cb=21097>
- ICMM (International Council on Mining & Metals [Conselho Internacional de Mineração e Metais]), 2025. Our Members [Nossos Membros]. Disponível online em: <https://www.icmm.com/en-gb/our-story/our-members>
- ICMM-UNEP-PRI (International Council on Mining & Metals-United Nations Environment Programme-Principles for Responsible Investment [Conselho Internacional de Mineração e Metais-Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente-Princípios para o Investimento Responsável]), 2020. Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos—Agosto de 2020, 40 p. Disponível online em: https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/12/global-tailings-standard_PT.pdf
- ICOLD (International Commission on Large Dams [Comissão Internacional de Grandes Barragens]), 2022. Tailings dam safety [Segurança de barragens de rejeitos]: Boletim 194, 192 p.
- ICOLD (International Commission on Large Dams [Comissão Internacional de Grandes Barragens]) e UNEP (United Nations Environment Program [Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente]), 2001. Tailings dams risk of dangerous occurrences—Lessons learnt from practical experiences [Risco de ocorrências perigosas de barragens de rejeitos—Lições aprendidas de experiências práticas]: Boletim 121, 146 p. Disponível online em: <https://www.icoldchile.cl/boletines/121.pdf>
- Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel [Painel Independente de Investigação e Revisão de Engenharia por Especialistas], 2015. Report on Mount Polley Tailings Storage Facility breach [Relatório sobre a brecha na instalação de armazenamento de rejeitos Mount Polley]: Relatório preparado para Ministry of Energy and Mines e Soda Creek Indian Band [Ministério de Energia e Minas e Banda Indígena Soda Creek], 156 p. Disponível online em: <https://www.mountpolleyreviewpanel.ca/sites/default/files/report/ReportonMountPolleyTailingsStorageFacilityBreach.pdf>
- Jeyapalan, J.K., 1981. Flow failures of some mine tailings dams [Falhas no fluxo de algumas barragens de rejeitos de minas]: Geotechnical Engineering [Engenharia Geotécnica], v. 12, pp. 153-166.
- Klohn, E.J., 1972. Design and construction of tailings dams [Projeto e construção de barragens de rejeitos]: Transações do CIM (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum [Instituto Canadense de Mineração, Metalurgia e Petróleo]), vol. 75, pp. 50-66.
- Klohn Crippen Berger, 2017. Study of tailings management technologies [Estudo das tecnologias de gerenciamento de rejeitos]: Relatório à Mining Association of Canada e Mine Environment Neutral Drainage (MEND) Program [Associação Canadense de Mineração e Programa de Drenagem Neutra para o Ambiente de Mineração, Relatório MEND

- 2.50.1, 164 p. Disponível online em: http://mendonem.org/wpcontent/uploads/2.50.1Tailings_Management_TechnologiesL.pdf
- Kossoff, D., W.E. Dubbin, M. Alfredsson, S.J. Edwards, M.G. Macklin, e K.A. Hudson-Edwards, 2014. Mine tailings dams—Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation [Barragens de rejeitos de mineração—Características, falhas, impactos ambientais e remediação]: Applied Geochemistry [Geoquímica Aplicada], vol. 51, pp. 229–245. Disponível online em: https://www.researchgate.net/publication/266620476_Mine_Tailings_Dams_Characteristics_Failure_Environmental_Impacts_and_Remediation
- Larrauri, P.C. e Lall, U., 2018. Tailings dams failures—Updated statistical model for discharge volume and runout [Falhas nas barragens de rejeitos—Modelo estatístico atualizado para volume de descarga e distância do evento inicial]: Environments [Ambientes], v. 5. Disponível online em: doi:10.3390/environments5020028
- Luino, F. e J.V. De Graff, 2012. The Stava mudflow of 19 July 1985 (northern Italy)—A disaster that effective regulation might have prevented [O deslizamento de lama de Stava, em 19 de julho de 1985 (norte da Itália)—Um desastre que poderia ter sido evitado com regulamentação eficaz]: Natural Hazards and Earth Systems Science [Riscos Naturais e Ciência dos Sistemas Terrestres], vol. 12, pp. 1029–1044. Disponível online em: https://www.researchgate.net/publication/258685108_The_Stava_mudflow_of_19_July_1985_Northern_Italy_A_disaster_that_effective_regulation_might_have_prevented
- Lyu, Z., J. Chai, Z. Xu, Y. Qin, e J. Cao, 2019. A comprehensive review on reasons for tailings dam failures based on case history [Uma revisão abrangente sobre as razões para falhas em barragens de rejeitos com base em estudos de caso]: Advances in Civil Engineering [Avanços em Engenharia Civil], vol. 2019, 18 p. Disponível online em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2019/4159306>
- Macías, J. L., P. Corona-Chávez, J.M. Sánchez-Núñez, M. Martínez-Medina, V.H. Garduño-Monroy, L. Capra, L., F. García-Tenorio, e G. Cisneros-Máximo, 2015. The 27 May 1937 catastrophic flow failure of gold tailings at Tlalpujahuá, Michoacán, Mexico [A falha catastrófica da barragem de rejeitos de ouro em Tlalpujahuá, Michoacán, México, ocorrido em 27 de maio de 1937]: Natural Hazards and Earth System Science [Riscos Naturais e Ciência dos Sistemas Terrestres], vol. 15, pp. 1069–1085. Disponível online em: https://www.researchgate.net/publication/307667822_The_27_May_1937_catastrophic_flow_failure_of_gold_tailings_at_Tlalpujahuá_Michoacan_Mexico
- Martin, T.E., E.C. McRoberts, e M.P. Davies, 2002. A tale of four upstream tailings dams [Uma história de quatro barragens de rejeitos a montante]: Tailings Dams 2002 [Barragens de Rejeitos 2002], Association of State Dam Safety Officials [Associação de Funcionários Estaduais de Segurança de Barragens], 25 p. Disponível online em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=68a6c1c74d20e12a3ca50d38232845c8108a1f56>
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables [Ministério da Energia e dos Recursos Naturais Não Renováveis] (Equador), 2020a. Acuerdo [Acordo] N° MERNNR-MERNNR-2020-0043-AM, 27 p. Disponível online em: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/MERNNR-MERNNR-2020-0043-AM-Instructivo-aprobacion-proyectos-relaves-mineria-FIRMADO.pdf>

- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables [Ministério da Energia e dos Recursos Naturais Não Renováveis] (Ecuador), 2020b. Anexo II—Guía técnica para la presentación de proyectos de diseño de los depósitos de relaves [Anexo II — Guia técnico para a apresentação de projetos de barragens de rejeitos], 31 p. Disponível online em: <https://www.mingaservice.com/web/index.php/documento/categoria/legislacion-minera>
- Ministerio de Minería (Chile) [Ministério da Mineração (Chile)], 2007. Decreto Supremo n° 248—Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves—publicado en el Diario Oficial el 11 de abril de 2007 [Decreto Supremo n° 248—Regulamento para a aprovação de projetos de concepção, construção, operação e encerramento de depósitos de rejeitos—publicado no Diário Oficial em 11 de abril de 2007], 24 p. Disponível online em: https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/DS248_Reglamento_DepositosRelave.pdf
- Ministry of Energy, Mines and Low Carbon Innovation (British Columbia) [Ministério de Energia, Minas e Inovação de Baixo Carbono (Colúmbia Britânica)], 2024. Health, Safety and Reclamation Code for Mines in British Columbia [Código de Saúde, Segurança e Recuperação para Minas na Colúmbia Britânica]: Revisado abril de 2024, 398 p. Disponível online em: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/mineral-exploration-mining/documents/health-and-safety/code-review/minescode_april_2024_web.pdf
- Mohanty, S., J. Friedman, e D. Conover, 2023. Chapter 7—Soil stability, support, and control [Capítulo 7—Estabilidade, suporte e controle do solo]: Em P. Darling (Ed.), SME Surface Mining Handbook [Manual de Mineração de Superfície da SME] (pp. 117-139), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade para Mineração, Metalurgia e Exploração], Englewood, Colorado, 652 p.
- Morrill, J., D. Chambers, S. Emerman, R. Harkinson, J. Kneen. U. Lapointe, A. Maest, B. Milanez, P. Personius, P. Sampat, e R. Turgeon, 2022. A segurança em primeiro lugar—Diretrizes para gestão responsável de rejeitos de mineração: Earthworks, Mining Watch Canada [Canadá], e London Mining Network [Rede de Mineração de Londres]: Versão 2.0, maio de 2022, 55 p. Disponível online em: <https://earthworks.org/resources/safety-first/>
- Morrison, K.F. e B. Byler, 2022. Chapter 38—Risk assessment and risk management [Capítulo 38—Avaliação e gestão de riscos]: Em K.F. Morrison (Ed.), Tailings management handbook—A life-cycle approach [Manual de gestão de rejeitos de mineração—Uma abordagem de ciclo de vida] (pp. 749-780), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade para Mineração, Metalurgia e Exploração], Englewood, Colorado, 1004 p.
- Morrison, K.F. e H. Lammers, 2022. Chapter 1—What are tailings? [Capítulo 1—O que são rejeitos?]: Em K.F. Morrison (Ed.), Tailings management handbook—A life-cycle approach [Manual de gestão de rejeitos de mineração—Uma abordagem de ciclo de vida] (pp. 3-12), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade para Mineração, Metalurgia e Exploração], Englewood, Colorado, 1004 p.
- MRN (Mineração Rio do Norte), 2024. Resposta ao Observatório da Mineração, 2 p. Disponível online em: https://observatoriodamineracao.com.br/wp-content/uploads/2024/01/Resposta-MRN_Observatorio-da-Mineracao.pdf

- MRN (Mineração Rio do Norte), 2025a. Somos o encontro de pessoas, preservação ambiental, responsabilidade social e mineração. Disponível online em <https://mrn.com.br/index.php/pt/quem-somos>
- MRN (Mineração Rio do Norte), 2025b. Gestão de Rejeitos. Disponível online em: <https://mrn.com.br/index.php/pt/o-que-fazemos/barragens-e-reservatorios-de-rejeito>
- Petley, D., 2019. The speed of the Brumadinho tailings dam landslide [A velocidade do deslizamento da barragem de rejeitos Brumadinho]: AGU100 Blogosphere—The Landslide Blog, 4 de fevereiro de 2019. Disponível online em: <https://blogs.agu.org/landslideblog/2019/02/04/brumadinho-tailings-dam-landslide/>
- Piciullo, L., E.B. Storrøsten, L. Zhongqiang, N. Farrokh, e S. Lacasse, 2022. A new look at the statistics of tailings dam failures [Uma nova análise das estatísticas de falhas em barragens de rejeitos]: Engineering Geology [Geologia de Engenharia], vol. 303, 14 p. Disponível online em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795222001429?via%3Dihub>
- Pimenta de Avila Consultoria, 2020a. Sistema de Rejeitos e Recuperação de Finos—Plano de Ação de Emergência para a Barragem de Mineração - SP-19: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, Projeto Trombetas, Projeto—Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QD5-JPA-09-03-001-RT, N° Doc. Projetista RN-458-RL-49101-02, Rev. 4, 31 de julho de 2020, 113 p.
- Pimenta de Avila Consultoria, 2020b. Sistema de Rejeitos e Recuperação de Finos (Mina/Porto)—Mineração - Barragens Mina—Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM) - Reservatórios de Rejeitos Adensados SP-4N, SP-5L, SP-5O, SP-10 e SP-11: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, ID Projeto—PGB06, Fase—Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QD5-DAM-26-20-582-RT, N° Doc. Projetista CDC-C-PT-RE-002, Rev. 2, 22 de maio de 2020, 169 p.
- Pimenta de Avila Consultoria, 2021. Sistema de Rejeitos e Recuperação de Finos (Mina / Porto)— Estudo de Ruptura Hipotética do Sistema de Disposição de Rejeitos e das Barragens de Contenção de Sedimentos PAEBM e Plano de Contingência Geral— Relatório Técnico de Consolidação de Dados, Critérios, Premissas e Metodologias: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, PGB 01, Projeto—Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QC5-JPA-26-20-003-RT, N° Doc. Projetista RN-534-RL-54183-00, Rev. 1, 29 de junho de 2021, 58 p.
- Pimenta de Avila Consultoria, 2023. Sistema de Rejeitos e Recuperação de Finos (Mina/Porto) —PAEBM - Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração— Reservatório—Relatório Técnico - Reservatórios do Platô Saracá Leste: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, ID do Projeto—PGB06, Projeto—Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QC5-JPA-26-25-776-RT, N° Doc. Projetista RN-679-RL-57679-03, Rev. 4, 23 de junho de 2023, 162 p.
- Pimenta de Avila Consultoria, 2024. Sistema de Rejeitos e Recuperação de Finos (Mina/Porto) —PAEBM - Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração— Reservatório—Relatório Técnico – SP-25: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, ID do Projeto—PGB06, Projeto—Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, N° Doc. MRN QD5-PDA-26-25-030-RT, N° Doc. Projetista RN-694-RL-59957-04, Rev. 3, 19 de junho de 2024, 111 p.
- Pimenta de Avila Consultoria, 2025. Sistema de Rejeitos e Recuperação de Finos (Mina/Porto) —PAEBM - Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração—

- Reservatório—Relatório Técnico - Reservatórios do Platô Saracá Leste: Relatório preparado para Mineração Rio do Norte, ID do Projeto—PGB06, Projeto—Fase IV - Produção 16,3 mtpa – Melhorias, Nº Doc. MRN QC5-JPA-26-25-776-RT, Nº Doc. Projetista RN-679-RL-57679-03, Rev. 7, 30 de julho de 2025, 152 p.
- Rana, N.M, N. Ghahramani, S.G. Evans, S. McDougall, A. Small, e W. A. Take, 2021. Catastrophic mass flows resulting from tailings impoundment failures [Fluxos de massa catastróficos resultantes de rupturas em barragens de rejeitos]: Engineering Geology [Geologia de Engenharia], vol. 292, 20 p. Disponível online em: https://www.researchgate.net/publication/353090918_Catastrophic_mass_flows_resulting_from_tailings_impoundment_failures
- Robertson, P.K., L. de Melo, D.J. Williams, e G.W. Wilson, 2019. Relatório do painel de especialistas sobre as causas técnicas do rompimento da Barragem I do Córrego do Feijão: Relatório preparado para Vale S.A., 81 p. Disponível online em: <https://bdrblinvestigationstacc.z15.web.core.windows.net/assets/Feijao-Dam-I-Expert-Panel-Report-PORT.pdf>
- Roche, C., K. Thygesen, e E. Baker (eds.), 2017. Mine tailings storage—Safety is no accident—A UNEP Rapid Response Assessment [Armazenamento de rejeitos de mineração—A segurança não é por acaso—Uma avaliação de Resposta Rápida do PNUMA: United Nations Environment Programme and GRID-Arendal [Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e GRID-Arendal], Nairóbi e Arendal, 70 p. Disponível online em: https://gridarendal-website-live.s3.amazonaws.com/production/documents/:s_document/371/original/RRA_MineTailings_lores.pdf?1510660693
- Sistema Nacional de Información Ambiental (Perú) [Sistema Nacional de Informação Ambiental (Peru)], 2014. Decreto Supremo Nº 040-2014-EM .- Reglamento de protección y gestión ambiental para las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero [Decreto Supremo No. 040-2014-EM .- Regulamento de proteção e gerenciamento ambiental para atividades de exploração, benefício, trabalho geral, transporte e armazenamento de minas], 30 p. Disponível online em: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-proteccion-gestion-ambiental-las-actividades-explotacion>
- SNGM (Servicio Nacional de Geología y Minería [Serviço Nacional de Geologia e Mineração], 2020. Depósito de Relaves—Catastro de Depósitos de Relaves en Chile (actualización 10-08-2020) [Depósitos de Rejeitos — Inventário de Depósitos de Rejeitos no Chile (atualizado em 10/08/2020)]. Disponível online em: <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>
- Snow, R., 2022. Chapter 5—Conventional tailings management [Capítulo 5—Gestão convencional de rejeitos]: Em K.F. Morrison (Ed.), Tailings management handbook—A life-cycle approach [Manual de gestão de rejeitos de mineração—Uma abordagem de ciclo de vida] (pp. 65-83), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade para Mineração, Metalurgia e Exploração], Englewood, Colorado, 1004 p.
- TailPro Consulting, 2025. Conventional Impoundment Storage – The Current Techniques [Armazenamento em Reservatórios Convencionais – As Técnicas Atuais]. Disponível online em: <https://tailings.info/disposal/conventional.htm>
- Takahashi, T., 1991. Debris flow [Fluxo de detritus]: Monografia da IAHR, Balkema, Rotterdam, 165 pp.

- Turek, C., 2023. Chapter 2—Open pit mining in a changing world [Capítulo 2— Mineração a céu aberto em um mundo em transformação]: Em P. Darling (Ed.), SME Surface Mining Handbook [Manual de Mineração de Superfície da SME] (pp. 13-28), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade para Mineração, Metalurgia e Exploração], Englewood, Colorado, 652 p.
- UNEP (United Nations Environment Program [Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente]), The Church of England [A Igreja da Inglaterra], GRID-Arendal, e Council on Ethics—Swedish National Pension Fund [Conselho de Ética – Fundo Nacional de Pensões da Suécia], 2025. Global Tailings Portal [Portal Global de Rejeitos]. Disponível online em: <https://tailing.grida.no/>
- USACE (U.S. Army Corps of Engineers [Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA]), 2000. Design and construction of levees [Projeto e construção de diques]: Manual No. 1110-2-1913, 164 p. Disponível online em: https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1913.pdf
- USACE (U.S. Army Corps of Engineers [Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA]), 2014. Safety of dams – Policy and procedures [Segurança de barragens – Política e procedimentos]: Engineer Regulation [Regulamento de Engenharia] ER 1110-2-1156, 528 p. Disponível online em: http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerRegulations/ER_1110-2-1156.pdf
- USACE-HEC (U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center [Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA – Centro de Engenharia Hidrológica]), 2003. Application of paleohydrology to Corps flood frequency analysis [Aplicação da paleohidrologia à análise de frequência de inundações do Corpo de Engenheiros]: RD-47, 34 p. Disponível online em: <http://www.hec.usace.army.mil/publications/ResearchDocuments/RD-47.pdf>
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency [Agência de Proteção Ambiental dos EUA]), 1994. Technical Report—Design and evaluation of tailings dams [Relatório Técnico—Projeto e avaliação de barragens de rejeitos]: Office of Solid Waste, Special Waste Branch [Departamento de Resíduos Sólidos, Divisão de Resíduos Especiais], EPA 530-R-94-038 NTIS PB94-201845, 63 p. Disponível online em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000EF89.PDF?Dockey=2000EF89.PDF>
- Valenzuela, L., 2016. Design, construction, operation and the effect of fines content and permeability on the seismic performance of tailings sand dams in Chile [Projeto, construção, operação e o efeito do teor de finos e da permeabilidade no desempenho sísmico de barragens de rejeitos de areia no Chile.]: Obras y Proyectos [Obras e Projetos], vol. 19, pp. 6-22. Disponível online em: https://www.researchgate.net/publication/306070144_Design_construction_operation_and_the_effect_of_fines_content_and_permeability_on_the_seismic_performance_of_tailings_sand_dams_in_Chile
- Vick, S.G., 1990. Planning, design, and analysis of tailings dams [Planejamento, projeto e análise de barragens de rejeitos]: BiTech Publishers, Vancouver, Canadá, 369 p. Disponível online em: <https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubccommunityandpartnerspublicati/52387/items/1.0394902>

- Vick, S.G., 2014a. The use and abuse of risk analysis [O uso e o abuso da análise de risco]: Apresentação em PowerPoint na Tailings and Mine Waste Conference 2014 [Conferência sobre Rejeitos e Resíduos de Mineração 2014], 17 slides.
- Vick, S.G., 2014b. The use and abuse of risk analysis [[O uso e o abuso da análise de risco]: Em Tailings and Mine Waste ‘14 Proceedings of the 18th International Conference on Tailings and Mine Waste [Rejeitos e Resíduos de Mineração ‘14 Anais da 18ª Conferência Internacional sobre Rejeitos e Resíduos de Mineração], Keystone, Colorado, EUA, 5-8 de outubro de 2014, pp. 49-56. Disponível online em: https://tailingsandminewaste.com/wp-content/uploads/TMW2014_proceedings.pdf
- Villavicencio, G., R. Espinace, J. Palma, A. Fourie, e P. Valenzuela, 2014. Failures of sand tailings dams in a highly seismic country [Falhas de barragens de rejeitos de areia em um país de alta sismicidade]: Canadian Geotechnical Journal [Revista Geotécnica Canadense], vol. 51, pp. 449-464. Disponível online em: https://www.researchgate.net/publication/263247119 Failures_of_sand_tailings_dams_in_a_highly_seismic_country
- Wanderley, L.J., 2021. Barragens de mineração na Amazônia—O rejeito e seus riscos associados em Oriximiná: Comissão Pró-Índio de São Paulo, abril de 2021, 60 p. Disponível online em: <https://cpisp.org.br/publicacao/barragens-de-mineracao-na-amazonia-o-rejeito-e-seus-riscos-associados-em-oriximina/>
- Werner, P., 2025. The party’s over, now what? [A festa acabou, e agora?]: Mining Engineering [Engenharia de Minas], dezembro de 2025, pp. 20-24.

ANEXO A: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA TP1

Tabela A1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—TP1

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela A2

Tabela A2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—TP1

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 27$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela A1

**Tabela A3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—TPI**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela A4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—TP1

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela A5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
TP1**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 22$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO B: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA TP2

Tabela B1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—TP2

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela B2

Tabela B2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 32$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela B1

**Tabela B3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—TP2**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 16$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela B4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—TP2

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela B5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
TP2**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 22$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO C: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA TP3

Tabela C1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—TP3

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela C2

Tabela C2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—TP3

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 17$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela C1

**Tabela C3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—TP3**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela C4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—TP3

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 6$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela C5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
TP3**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno $\leq 500 \text{ mil m}^3$ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m^3 (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande $\geq 50 \text{ milhões m}^3$ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 10$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO D: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP1

Tabela D1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP1

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela D2

Tabela D2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP1

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 25$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela D1

**Tabela D3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SPI**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 2$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela D4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP1

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 4$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela D5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP1**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO E: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP2_3

Tabela E1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP2_3

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela E2

Tabela E2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP2_3

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 33$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela E1

**Tabela E3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP2_3**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 2$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela E4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP2_3

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela E5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP2_3**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO F: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP4 NORTE

Tabela F1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP4 NORTE

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela F2

Tabela F2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP4 NORTE

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 28$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela F1

**Tabela F3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP4 NORTE**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela F4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP4 NORTE

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela F5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP4 NORTE**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO G: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP4 SUL

Tabela G1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP4 SUL

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela G2

Tabela G2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP4 SUL

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 28$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela G1

**Tabela G3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP4 SUL**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 4$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela G4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP4 SUL

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela G5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP4 SUL**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO H: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP5 LESTE

Tabela H1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP5 LESTE

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela H2

Tabela H2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP5 LESTE

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 28$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela H1

**Tabela H3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP5 LESTE**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 2$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela H4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP5 LESTE

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela H5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP5 LESTE**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 11$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO I: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP5 OESTE

Tabela II. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP5 OESTE

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela I2

Tabela I2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP5 OESTE

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 24$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela II

**Tabela I3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP5 OESTE**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 4$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela I4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP5 OESTE

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela I5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP5 OESTE**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO J: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP6

Tabela J1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP6

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela J2

Tabela J2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP6

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 26$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela J1

**Tabela J3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP6**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 2$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela J4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP6

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 2$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela J5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP6**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno $\leq 500 \text{ mil m}^3$ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m^3 (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande $\geq 50 \text{ milhões m}^3$ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 11$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO K: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP7A

Tabela K1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP7A

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela K2

Tabela K2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP7A

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 31$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela K1

**Tabela K3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP7A**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 9$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela K4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP7A

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela K5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP7A**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 11$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO L: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP7B

Tabela L1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP7B

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela L2

Tabela L2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP7B

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 25$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela L1

**Tabela L3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP7B**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 6$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela L4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP7B

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela L5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP7B**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO M: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP7C

Tabela M1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP7C

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela M2

Tabela M2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP7C

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 34$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela M1

**Tabela M3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP7C**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 6$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela M4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP7C**

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela M5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP7C**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO N: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP8

Tabela N1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP8

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela N2

Tabela N2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP8

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 26$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela N1

**Tabela N3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP8**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 4$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela N4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP8

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela N5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP8**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO O: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP9

Tabela O1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP9

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela O2

Tabela O2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP9

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 16$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela O1

**Tabela O3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP9**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 10$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela O4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP9

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela O5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP9**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO P: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP9A

Tabela P1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP9A

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela P2

Tabela P2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP9A

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 22$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela P1

**Tabela P3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP9A**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 2$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela P4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP9A

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela P5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP9A**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 8$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO Q: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP10

Tabela Q1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP10

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela Q2

Tabela Q2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP10

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 16$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela Q1

**Tabela Q3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP10**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 8$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela Q4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP10

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela Q5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP10**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO R: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP11

Tabela R1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP11

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela R2

Tabela R2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP11

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 18$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela R1

**Tabela R3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP11**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 6$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela R4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP11

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela R5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP11**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO S: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP12

Tabela S1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP12

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela S2

Tabela S2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP12

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 16$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela S1

Tabela S3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)— Estado de Conservação (EC)¹—SP12

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 4$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela S4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP12

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela S5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP12**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO T: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP13

Tabela T1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP13

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela T2

Tabela T2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP13

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 15$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela T1

**Tabela T3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP13**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 4$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela T4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP13

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 3$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela T5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP13**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 11$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO U: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP14

Tabela U1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP14

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela U2

Tabela U2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP14

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 15$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela U1

**Tabela U3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP14**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 2$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela U4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP14

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 6$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela U5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP14**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 8$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO V: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP15

Tabela V1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP15

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela V2

Tabela V2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP15

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 17$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela V1

**Tabela V3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP15**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 2$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela V4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP15

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela V5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP15**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO W: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP16

Tabela W1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP16

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela W2

Tabela W2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP16

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 11$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela W1

Tabela W3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)— Estado de Conservação (EC)¹—SP16

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 2$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela W4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP16**

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 6$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela W5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP16**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO X: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP19

Tabela X1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP19

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela X2

Tabela X2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP19

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 17$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela X1

Tabela X3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)— Estado de Conservação (EC)¹—SP19

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 6$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela X4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP19

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela X5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP19**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 11$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO Y: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-24A

Tabela Y1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-24A

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura \leq 15m (0)	Suave (\leq 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento \leq 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H \geq Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m \leq Altura \leq 60m (4)	Ingrime ($>$ 1V:2H) (6)	200m \leq Comprimento \leq 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela Y2

Tabela Y2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-24A

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 12$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela Y1

**Tabela Y3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP-24A**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela Y4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP-24A

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela Y5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP-24A**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno $\leq 500 \text{ mil m}^3$ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m^3 (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande $\geq 50 \text{ milhões m}^3$ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 10$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO Z: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-24B

Tabela Z1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-24B

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela Z2

Tabela Z2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-24B

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 15$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela Z1

**Tabela Z3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Estado de Conservação (EC)¹—SP-24B**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela Z4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP-24B

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela Z5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—
SP-24B**

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno $\leq 500 \text{ mil m}^3$ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m^3 (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande $\geq 50 \text{ milhões m}^3$ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 10$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO AA: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-24C

**Tabela AA1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-24C**

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela AA2

**Tabela AA2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-24C**

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 15$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela AA1

Tabela AA3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)— Estado de Conservação (EC)¹—SP-24C

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela AA4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP-24C**

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela AA5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—SP-24C

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno $\leq 500 \text{ mil m}^3$ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m^3 (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande $\geq 50 \text{ milhões m}^3$ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 10$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO AB: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-25A

**Tabela AB1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-25A**

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura \leq 15m (0)	Suave (\leq 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento \leq 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H \geq Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m \leq Altura \leq 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m \leq Comprimento \leq 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela AB2

**Tabela AB2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-25A**

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 9$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela AB1

Tabela AB3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)— Estado de Conservação (EC)¹—SP-25A

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela AB4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP-25A**

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela AB5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—SP-25A

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno $\leq 500 \text{ mil m}^3$ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m^3 (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande $\geq 50 \text{ milhões m}^3$ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 10$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO AC: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-25B

**Tabela AC1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-25B**

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela AC2

**Tabela AC2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-25B**

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 9$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela AC1

Tabela AC3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)— Estado de Conservação (EC)¹—SP-25B

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela AC4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP-25B**

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela AC5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—SP-25B

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno $\leq 500 \text{ mil m}^3$ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m^3 (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m^3 (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande $\geq 50 \text{ milhões m}^3$ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 10$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

ANEXO AD: MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO PARA SP-25C

**Tabela AD1. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-25C**

Altura (a)	Inclinação média dos taludes na seção principal (b)	Comprimento (c)	Vazão do Projeto (d)	Controle de compactação (e)
Altura ≤ 15m (0)	Suave (≤ 1V:3H) ou barragem de concreto (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Existem documentos que comprovam o controle de compactação conforme projeto e que comprovam o acompanhamento e controle tecnológico durante a execução (0)
15m < Altura < 30m (1)	Intermediário (1V:2H ≥ Inclinação > 1V:3H) (3)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Existem estudo geotécnicos que comprovam o grau de compactação de acordo com projeto (4)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	Ingrime (> 1V:2H) (6)	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Não houve controle tecnológico e/ou não há informação e/ou compactação em desacordo com projeto (10)
Altura > 60m (7)		Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação em Tabela AD2

**Tabela AD2. Classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Características Técnicas (CT)^{1,2}—SP-25C**

Existência de drenagem interna (f)	Fundação (g)	Método Construtivo (h)	Instrumentação (i)	Idade da barragem (j)
Drenagem construída conforme projeto ou não existe drenagem em projeto (0)	Fundação investigada conforme projeto (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)	Entre 5 e 15 anos (1)
Drenagem corretiva construída posteriormente a conclusão da barragem (4)	Fundação parcialmente investigada (6)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)	Entre 15 e 30 anos (2)
Sistema de drenagem em desacordo com projeto ou inexistente ou desconhecida ou estudo não confiável ou inoperante (10)	Fundação desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)	<5 anos ou > 30 anos ou sem informação (3)
		Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)	

$$CT = \sum (a \text{ até } j) = 9$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

²Continuação de Tabela AD1

Tabela AD3. Matriz de classificação quanto à Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)— Estado de Conservação (EC)¹—SP-25C

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (k)	Percolação (l)	Deformações e Recalques (m)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (n)	Drenagem Superficial (o)
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)	Drenagem superficial existente e operante (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias, sem restrição operacional e extravasor com capacidade plena (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)	Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação (4)
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)	Drenagem superficial inexistente (5)

$$EC = \sum (k \text{ até } o) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

**Tabela AD4. Matriz de classificação quanto a Categoria de Risco (resíduos e rejeitos)—
Plano de Segurança da Barragem (PS)¹—SP-25C**

Documentação de Projeto (p)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (q)	Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento (r)	Plano de Ação Emergencial PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (s)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (t)
Projeto executivo é "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança ou é barragem não enquadrada nos incisos I, II, III ou IV, parágrafo único do art. 1º da Lei nº 12.334/2010 (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)				

$$PS = \sum (p \text{ até } t) = 0$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)

Tabela AD5. Classificação quanto ao Dano Potencial Associado - DPA (resíduos e rejeitos)¹—SP-25C

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando 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 10004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (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 10004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (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 infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) = 11$$

¹Tabela redesenhada a partir da ANM (2022) com dados da ANM (2025)