DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.1/9

Aplicação do *Framework* do ICOLD *Bulletin* 194 na Avaliação de Estruturas de Disposição de Rejeitos com Materiais Contráteis

Letícia Balabram Leão Garcia
Engenheira Geotécnica, Knight Piésold, Belo Horizonte, Brasil, lgarcia@knightpiesold.com

Andressa da Silva
Engenheira Geotécnica, Knight Piésold, Belo Horizonte, Brasil, asilva2@knightpiesold.com

Lucas Otoni Corrêa
Assistente de Engenharia, Knight Piésold, Belo Horizonte, Brasil, lcorrea2@knightpiesold.com

Guilherme Roberto Slongo
Engenheiro Geotécnico, Knight Piésold, Belo Horizonte, Brasil, gslongo@knightpiesold.com

Carla Caroline Allessi
Engenheira Geotécnica, Knight Piésold, Belo Horizonte, Brasil, callessi@knightpiesold.com

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicação prática do *framework* proposto no Apêndice B do ICOLD *Bulletin* 194 para a avaliação da estabilidade de estruturas de disposição de rejeitos contendo materiais contráteis. A metodologia baseou-se na interpretação de resultados de ensaios triaxiais adensados não drenados realizados em material de empréstimo compactado, submetido a diferentes níveis de tensão confinante, permitindo analisar o comportamento tensão–deformação, onde é possível verificar a ocorrência de *strain-softening* e a magnitude da perda de resistência pós-pico por meio do índice de fragilidade (I_B). A partir desses dados, o material foi classificado conforme os casos previstos no *framework*, orientando a seleção dos métodos de análise e fatores mínimos de segurança recomendados. Foram analisados os possíveis enquadramentos do material nos diferentes cenários do fluxograma, incluindo situações de comportamento moderadamente e altamente frágil, bem como suas implicações para análises de estabilidade. Os resultados evidenciam que a aplicação sistemática do *framework* fornece uma base técnica consistente para a interpretação do comportamento geomecânico e para a definição de abordagens de estabilidade alinhadas às melhores práticas internacionais e apresenta aplicabilidade em condições reais, devendo sempre ser utilizada em conjunto com as normas e exigências regulatórias vigentes, adotando-se critérios compatíveis e conservadores para a avaliação da segurança geotécnica.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens de rejeitos, Materiais contráteis, Strain-softening, Estabilidade geotécnica, Ensaios triaxiais, ICOLD.

ABSTRACT: This study aims to demonstrate the practical application of the framework proposed in Appendix B of ICOLD Bulletin 194 for the stability assessment of tailings storage facilities containing contractive materials. The methodology was based on the interpretation of consolidated undrained triaxial test results performed on compacted borrow material under distinct confining stress levels, allowing the evaluation of stress–strain behavior, aiming to verify the occurrence of strain-softening, and the magnitude of post-peak strength loss through the brittleness index (I_B). Based on these data, the material was classified according to the cases defined in the framework, supporting the selection of appropriate analysis methods and recommended minimum factors of safety. Possible classifications within the different flowchart scenarios were analyzed, including moderate and highly brittle behavior and their implications for stability analyses. The results show that the systematic application of the framework provides a consistent technical basis for interpreting geomechanical behavior and defining stability assessment approaches aligned with international best practices. The methodology proved applicable to real-world conditions and should always be used together with applicable standards and regulatory requirements, adopting compatible and conservative criteria for geotechnical safety evaluation.

KEYWORDS: Tailings dams, Contractive soils, Strain-softening, Geotechnical stability, Triaxial testing, ICOLD.

1 INTRODUÇÃO

A segurança de barragens de rejeitos tem recebido crescente atenção técnica e regulatória, especialmente diante de falhas associadas ao comportamento contrátil de materiais estruturantes. Materiais contráteis podem apresentar redução significativa da resistência ao cisalhamento sob carregamentos monotônicos ou cíclicos, favorecendo mecanismos de ruptura progressiva e, em casos extremos, liquefação estática. Esse comportamento impõe desafios às análises tradicionais de estabilidade, exigindo abordagens que considerem explicitamente a resposta tensão–deformação e a possível transição entre resistências de pico e residual.

Nesse contexto, o *Tailings Dam Safety Bulletin* 194, publicado pelo Comitê Internacional de Grandes Barragens (ICOLD) em 2025, consolida diretrizes técnicas e de governança para todas as fases do ciclo de vida de barragens de rejeitos. Entre seus conteúdos, destaca-se o Apêndice B, que apresenta um *framework* estruturado para a seleção de métodos de análise e fatores de segurança (FS) em barragens contendo materiais contráteis em zonas estruturais ou na fundação. O *framework* baseia-se na identificação do comportamento tensão–deformação sob cisalhamento não drenado, considerando a ocorrência de *strain-softening* e diferentes graus de perda de resistência pós-pico (*brittleness*), permitindo o enquadramento dos materiais em cenários de análise que orientam a escolha dos métodos de análise e de fatores mínimos de segurança.

No contexto brasileiro, a avaliação da suscetibilidade à liquefação estática e do comportamento mecânico de materiais contráteis vem sendo progressivamente incorporada às práticas normativas. A ABNT NBR 13028-3:2025 recomenda a caracterização de rejeitos por meio de classificações geotécnicas, correlações de campo e ensaios laboratoriais capazes de avaliar o comportamento tensão–deformação, incluindo metodologias fundamentadas no ICOLD *Bulletin* 194 ou na determinação da linha de estado crítico. Embora direcionada principalmente a pilhas de rejeitos filtrados, a norma reflete princípios convergentes com aqueles aplicados em barragens de rejeitos contendo materiais contráteis, reforçando a integração entre caracterização avançada dos materiais, análises de estabilidade e gestão de riscos.

Neste estudo, o *framework* do Apêndice B do ICOLD *Bulletin* 194 é aplicado a dados reais provenientes de ensaio triaxial adensado não drenado (CIU) em material de empréstimo, analisados em um cenário hipotético representativo de materiais empregados em zonas estruturais de uma barragem de rejeitos. O ensaio foi conduzido sob tensões confinantes de 100, 200, 400, 800, 1200 e 1800 kPa, permitindo a avaliação do comportamento tensão–deformação e o potencial de *strain-softening*. A metodologia é apresentada de forma sistemática, incluindo classificação do material, definição de fatores de segurança e escolha dos métodos de análise recomendados, demonstrando a aplicabilidade prática do *framework* em condições reais e contribuindo para avaliações de estabilidade mais consistentes e alinhadas às melhores práticas internacionais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Framework* do ICOLD *Bulletin* 194

O ICOLD Bulletin 194 organiza suas recomendações técnicas em apêndices que detalham procedimentos específicos para a avaliação do comportamento mecânico de materiais em barragens de rejeitos, estabelecendo a ligação entre a caracterização experimental e a análise de estabilidade. Entre esses, destacam-se os Apêndices A e B, que fornecem, respectivamente, a base conceitual para interpretação do comportamento tensão–deformação e o *framework* aplicado para a condução das análises de estabilidade.

O Apêndice A apresenta os fundamentos para a interpretação do comportamento sob cisalhamento não drenado, com ênfase na análise de trajetórias de tensão efetiva, geração de poropressão e evolução da deformação ao longo do cisalhamento. Esses conceitos subsidiam a avaliação do potencial de contração, da perda de resistência pós-pico e da suscetibilidade à ruptura progressiva ou à liquefação estática a partir de ensaios triaxiais.

Com base nos conceitos apresentados no Apêndice A, o Apêndice B do ICOLD *Bulletin* 194 apresenta um procedimento estruturado (*framework*), baseado em um fluxograma de decisão, para a seleção de métodos

de análise e fatores de segurança em avaliações de estabilidade de barragens de rejeitos contendo materiais contráteis em zonas estruturais ou de fundação. O processo inicia-se pela caracterização do comportamento sob cisalhamento não drenado, distinguindo materiais dilatantes e contráteis e, para estes últimos, avaliando o grau de *strain-softening* e o potencial de perda de resistência pós-pico, quantificados pelo índice de *brittleness* (I_B). A partir dessa triagem, os materiais são enquadrados em diferentes cenários de análise, os quais orientam a escolha dos parâmetros de resistência (de pico e residuais), dos métodos de análise — como equilíbrio limite ou análises numéricas não lineares — e dos níveis de segurança recomendados.

O *framework* define quatro casos principais para materiais contráteis: Caso 1 – *Not Strain Softening*, quando não há perda de resistência pós-pico; Caso 2 – *Limited Strain Softening*, caracterizado por redução limitada da resistência ($I_B < 0{,}20$); Caso 3 – *Moderate to High Strain Softening*, com perdas de resistência mais significativas ($0{,}20 < I_B < 0{,}40$), porém sem comportamento altamente frágil; e Caso 4 – *Highly Brittle*, associado a comportamento frágil e maior potencial de liquefação estática e ruptura progressiva. O Caso 4 é ainda subdividido em 4A, 4B e 4C, conforme o fator de segurança calculado com resistência residual e a classificação de consequências da estrutura.

A partir dessa classificação inicial, o *framework* estabelece recomendações específicas quanto aos métodos de análise, fatores mínimos de segurança e estratégias de avaliação de desempenho para cada cenário, constituindo a base metodológica adotada neste estudo para a interpretação dos resultados experimentais e para o enquadramento do material analisado.

2.2 Caracterização do material estudado

O material investigado consiste em um material de empréstimo derivado do intemperismo de rochas do tipo mica-quartzo-xisto, caracterizado por elevada fração fina e comportamento geotécnico fortemente influenciado pela mineralogia e pelo grau de alteração. A distribuição granulométrica do solo indicou aproximadamente 56% de argila, 27% de silte, 16% de fração arenosa e 1% de pedregulho, caracterizando-o como um solo silto argiloso. A caracterização granulométrica foi realizada conforme a ABNT NBR 7181, contemplando análise por peneiramento e sedimentação.

O material apresenta plasticidade, avaliada por meio dos limites de Atterberg, com limite de liquidez (LL) = 50%, limite de plasticidade (LP) = 27% e índice de plasticidade (IP) = 23%, determinados de acordo com as normas ABNT NBR 6459 (limite de liquidez) e ABNT NBR 7180 (limite de plasticidade). A massa específica dos grãos foi determinada conforme a ABNT NBR 6508, resultando em 2,71 g/cm^3. Com base na caracterização, o solo é classificado como ML segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (USCS).

Embora o material seja proveniente de ocorrência natural real, sua aplicação neste trabalho é considerada em caráter hipotético e representativo, sendo analisado como material de empréstimo potencialmente empregado em zonas estruturais compactadas de barragens de terra homogêneas, sem associação a qualquer estrutura específica.

Considerando essa aplicação hipotética como material compactado, os corpos de prova utilizados nos ensaios de resistência foram preparados de forma a reproduzir condições típicas de campo associadas a processos de moldagem e compactação controlada. Os procedimentos adotados na preparação, incluindo condicionamento de umidade, moldagem e etapas de consolidação, são descritos detalhadamente na Seção 2.3.

2.3 Especificações do ensaio de resistência

A definição das condições de moldagem dos corpos de prova foi baseada em ensaio de compactação Proctor Normal, realizado conforme a ABNT NBR 7182, com o objetivo de estabelecer parâmetros de referência para a reprodução de condições representativas de campo. O ensaio resultou em densidade seca máxima de 1,59 gf/cm³ e umidade ótima de 23,7%.

Com base nesses parâmetros, os corpos de prova destinados aos ensaios de resistência foram moldados com umidade correspondente à umidade ótima e grau de compactação de 98%, resultando em densidade seca alvo de 1,56 gf/cm³. A moldagem foi conduzida de forma controlada, buscando manter homogeneidade estrutural.

Foram preparados seis corpos de prova sob essas mesmas condições iniciais de moldagem e compactação, destinados à realização de ensaio triaxial de compressão com consolidação isotrópica não drenado (CIU), conduzidos conforme a ASTM D4767. O ensaio foi executado sob seis diferentes níveis de tensão confinante efetiva, correspondentes a 100, 200, 400, 800, 1200 e 1800 kPa, com o objetivo de avaliar a resposta mecânica do material em uma faixa ampla de tensões representativas.

Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos a procedimentos de saturação com contrapressão, adotando-se como critério o parâmetro de Skempton mínimo $B \geq 0{,}98$, como indicativo de elevado grau de saturação. Na sequência, foi realizada a etapa de adensamento isotrópico sob as tensões efetivas previamente definidas para cada ensaio, seguido do cisalhamento em condição não drenada. Durante os ensaios, foram registradas as seguintes variáveis principais: deformação axial, tensão desviadora e poropressão, a partir das quais foram determinadas as tensões efetivas, permitindo a análise das curvas tensão–deformação, da geração de poropressão e das trajetórias de tensões efetivas ao longo do cisalhamento.

3 INTERPRETAÇÃO SEGUNDO O *FRAMEWORK*

A interpretação dos resultados experimentais foi conduzida conforme o fluxograma de decisão apresentado no Apêndice B do ICOLD *Bulletin* 194, traduzido e adaptado pelos autores, conforme ilustrado na Figura 1. O procedimento segue uma sequência lógica de avaliação do comportamento mecânico do material, permitindo seu enquadramento nos diferentes cenários previstos no framework e a definição das abordagens de análise subsequentes.

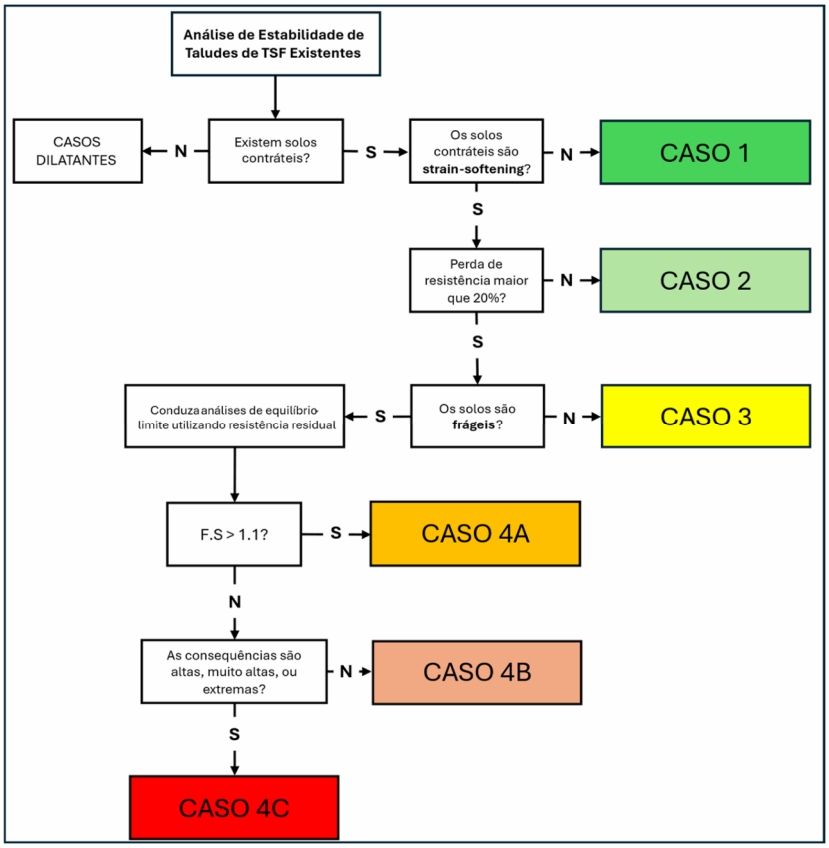


Figura 1. Fluxograma para análises de estabilidade (adaptado de ICOLD, 2025).

O primeiro passo do fluxograma consiste em verificar se os materiais apresentam comportamento contrátil sob cisalhamento não drenado. Para essa avaliação, foram analisadas as trajetórias de tensões efetivas no plano p′–q (MIT), apresentadas na Figura 2, bem como a evolução da poropressão durante o carregamento. Observa-se que as trajetórias indicam redução da tensão média efetiva ao longo do cisalhamento, característica

típica de materiais contráteis. Essa interpretação é corroborada pela geração de poropressão positiva em todos os níveis de tensão confinante ensaiados, também apresentada na Figura 2. Dessa forma, o material é classificado como contrátil, conduzindo a análise para o ramo “SIM” do fluxograma.

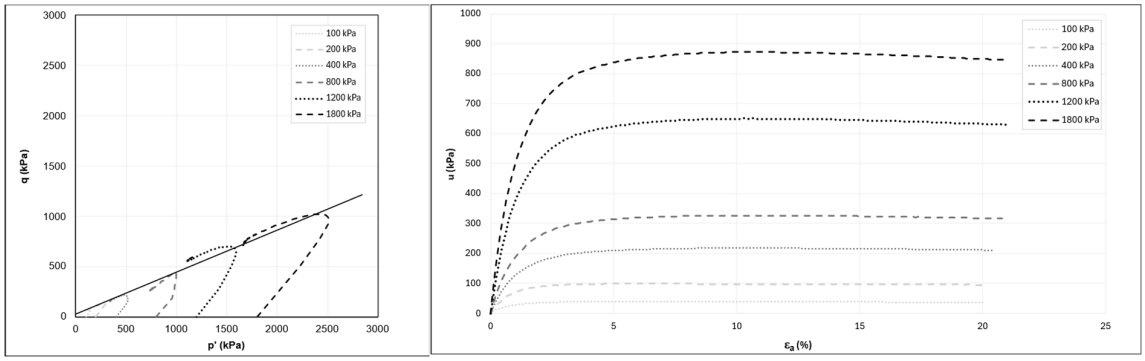


Figura 2. Trajetórias de tensão no plano p’-q e geração de poropressão durante o cisalhamento.

O passo seguinte consiste em avaliar se o material apresenta comportamento com strain-softening, caracterizado por perda de resistência pós-pico nas curvas tensão–deformação. Caso materiais contráteis não apresentem redução de resistência após o pico — situação correspondente ao Caso 1 (*Not Strain Softening*) — a estabilidade não drenada pode ser avaliada por métodos de equilíbrio limite utilizando resistências não drenadas de pico obtidas por ensaios laboratoriais ou inferidas por correlações. Nessa condição, a resistência de pico é equivalente à resistência residual, e fatores mínimos de segurança da ordem de 1,3 podem ser adotados, desde que os parâmetros sejam adequadamente caracterizados e representativos. Adicionalmente, a suscetibilidade à liquefação cíclica por ação sísmica deve ser avaliada conforme as recomendações do Apêndice A, podendo ser empregadas análises simplificadas de deformação quando não houver evidências de liquefação cíclica.

Entretanto, as curvas tensão–deformação apresentadas na Figura 3 indicam a ocorrência de perda de resistência pós-pico, evidenciando comportamento com strain-softening para o material analisado. Dessa forma, a análise prossegue para a etapa seguinte do fluxograma, que consiste em avaliar a magnitude da perda de resistência.

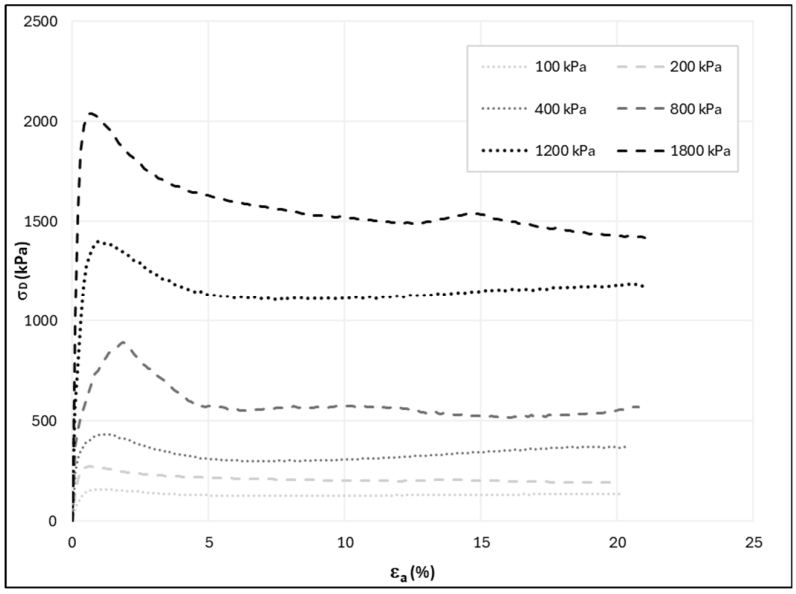


Figura 3. Gráfico de tensão-deformação.

Dando continuidade à aplicação do fluxograma apresentado na Figura 1, a magnitude da perda de resistência foi avaliada para cada nível de tensão confinante com base na comparação entre as resistências de pico e pós-pico obtidas no ensaio triaxial. A Tabela 1 apresenta os valores de resistência de pico, resistência residual, perda percentual de resistência e índice de rigidez/*brittleness* (I_B). O índice I_B é calculado como a razão entre a diferença da resistência de pico (Su_{pico}) e residual (Su_{res}) e a resistência de pico, i.e., $I_B = (Su_{pico} - Su_{res})/Su_{pico}$, variando entre 0 e 1, sendo um indicador adimensional da magnitude da perda de resistência pós-pico do material.

Tabela 1. Resistência de pico, pós-pico, perda de resistência e índice de rigidez (I_B).

Tensão confinante (kPa)	Resistência de pico (kPa)	Resistência pós-pico (kPa)	Perda de resistência (%)	Índice de rigidez (I_B)
100	158,34	135,01	14,74	0,147
200	271,11	190,85	29,61	0,296
400	432,14	296,94	31,28	0,313
800	893,55	516,80	42,16	0,422
1200	1397,81	1107,91	20,74	0,207
1800	2039,72	1419,03	30,43	0,304

Os resultados indicam perdas de resistência superiores a 20% para a maioria dos níveis de tensão confinante avaliados (200, 400, 800, 1200 e 1800 kPa), com valores de I_B variando entre aproximadamente 0,3 e 0,4. Apenas o ensaio conduzido sob tensão confinante de 100 kPa apresentou perda inferior a 20% ($I_B \approx 0,15$). Dessa forma, considerando a faixa de tensões efetivas representativas da aplicação hipotética analisada neste estudo, conclui-se que o material apresenta perda de resistência significativa, conduzindo a análise para o ramo "SIM" da etapa "Perda de resistência > 20%" do fluxograma.

Cabe destacar que, caso a estrutura em análise estivesse submetida exclusivamente a níveis de tensão efetiva da ordem de 100 kPa, o material poderia ser enquadrado no Caso 2 (*Limited Strain Softening*) do *framework*, caracterizado por materiais contráteis que apresentam strain-softening limitado, com redução da resistência pós-pico inferior a 20% ($I_B < 0,20$). Nessa condição, a estabilidade pode ser avaliada por análises de equilíbrio limite utilizando resistências não drenadas residuais, com fator mínimo de segurança de 1,1 para análises estáticas. Considerando que esse fator mínimo seja atendido nas análises com resistência residual, e que o material esteja adequadamente caracterizado, a resistência não drenada de pico deve ser avaliada com fator de segurança mínimo de 1,3. Caso haja incertezas na caracterização do material, o fator de segurança pode ser elevado a critério do projetista. Se os fatores mínimos de segurança não forem atingidos, o projeto deve ser reavaliado. Para zonas de baixa sismicidade, a avaliação com base na resistência residual (FS > 1) pode ser suficiente para considerar efeitos sísmicos. Em regiões de maior sismicidade, podem ser necessárias análises não lineares de deformação.

Entretanto, considerando que a faixa de tensões efetivas associada à aplicação hipotética considerada neste estudo excede 100 kPa, o material é enquadrado no ramo correspondente a perda de resistência superior a 20%, conduzindo à próxima etapa do fluxograma, que consiste na avaliação do grau de fragilidade do material (*brittleness*).

A Figura 4, extraída do Apêndice A do *Bulletin*, apresenta a classificação dos níveis de fragilidade. Os Casos 1 e 2 situam-se na zona verde (*generally non-brittle*). Caso o material apresente comportamento ligeiramente frágil (*moderately brittle*), caracterizado por $0,2 < I_B < 0,4$, enquadra-se na zona amarela, correspondente ao Caso 3. Valores de I_B superiores a 0,4 indicam comportamento altamente frágil (*highly brittle*), associado à zona vermelha e à continuidade do fluxograma.

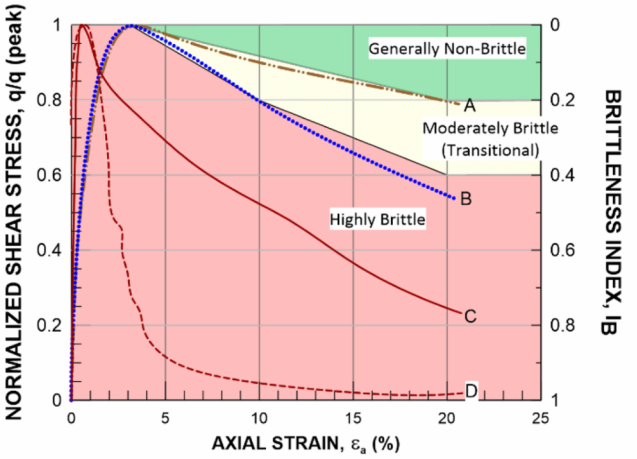


Figura 4. Magnitudade da perda de resistência pós-pico do material (ICOLD, 2025).

No presente estudo, apenas o ensaio com tensão confinante de 800 kPa resultou em I_B superior a 0,4, enquanto tensões mais elevadas (1200 e 1800 kPa) indicaram comportamento moderadamente frágil. Esse resultado pode sugerir que o ensaio a 800 kPa não seja plenamente representativo do comportamento global do material. Ainda assim, para fins de continuidade da avaliação no fluxograma de caracterização, considera-se hipoteticamente o enquadramento do material como altamente frágil.

Caso o material fosse enquadrado no Caso 3 (ligeiramente frágil), aplicável a solos contráteis com comportamento *strain-softening* e perda de resistência pós-pico entre 20% e 40% ($0,2 < I_B < 0,4$), sem indicação de comportamento altamente frágil, a estabilidade deve ser avaliada por análises de equilíbrio limite utilizando a resistência não drenada residual, adotando-se fator mínimo de segurança de 1,1. Caso esse valor não seja atingido, medidas de mitigação ou análises não lineares de deformação devem ser empregadas para avaliar o desempenho da estrutura. Adicionalmente, para o Caso 3, análises baseadas na resistência não drenada de pico devem apresentar fator de segurança mínimo de 1,5. Em regiões de baixa sismicidade, avaliações baseadas na resistência residual geralmente são suficientes para a análise sísmica. Em áreas com maior sismicidade, tornam-se necessárias análises não lineares capazes de representar o amolecimento por deformação e estimar as deformações induzidas por sismos.

Considerando que o material apresente comportamento altamente frágil ($I_B > 0,4$), enquadra-se no Caso 4 do f*ramework* do ICOLD, correspondente à zona vermelha da Figura 4, associada a maior probabilidade de perda súbita de resistência e potencial ocorrência de liquefação. Nessa condição, a primeira etapa consiste na realização de análises de equilíbrio limite utilizando resistências não drenadas residuais representativas.

Se o fator de segurança calculado com base na resistência residual for superior a 1,1, o material enquadra-se no Caso 4A, indicando que a instabilidade em caso de liquefação não é sugerida diretamente pelas análises. Para essa condição, devem ser realizadas análises adicionais com resistência não drenada de pico, normalmente adotando fator mínimo de segurança da ordem de 1,5 ou superior, considerando-se os possíveis efeitos de deformações associadas à mobilização da resistência residual e potenciais consequências secundárias. Dependendo da complexidade do comportamento do material e da estrutura, análises não lineares de deformação podem complementar a avaliação de desempenho.

Caso o fator de segurança com resistência residual seja inferior a 1,1, a continuidade do fluxograma depende da classificação de consequências da estrutura, definida conforme os critérios apresentados no *Bulletin* 194. Se a estrutura apresentar classificação de consequência baixa ou significativa, o material enquadra-se no Caso 4B, no qual avaliações baseadas em análise de risco podem ser conduzidas para estimar a probabilidade de gatilhos que levem ao carregamento não drenado e para verificar a necessidade de medidas de mitigação adicionais. Nessa condição, as análises de estabilidade de pico e avaliações sísmicas seguem abordagem semelhante à adotada no Caso 4A.

Por outro lado, se a estrutura apresentar classificação de consequência alta, muito alta ou extrema, o enquadramento passa para o Caso 4C, representando situação de risco elevado que requer análise detalhada, revisão crítica do projeto e priorização de medidas de mitigação. Nesses casos, podem ser necessárias intervenções estruturais, reforços, alterações operacionais ou mesmo descomissionamento da estrutura,

visando reduzir o risco associado à possível perda abrupta de resistência e às consequências potenciais para áreas a jusante.

4 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou a aplicação prática do *framework* proposto pelo ICOLD (2025) para avaliação do comportamento não drenado de solos contráteis, por meio de um exemplo baseado em dados experimentais de ensaios triaxiais CIU realizados em diferentes níveis de tensão confinante. Foi apresentado o passo a passo estruturado em língua portuguesa, contemplando a caracterização experimental do material, a interpretação do comportamento contrátil a partir das trajetórias de tensões efetivas e da geração de poropressão, a avaliação das curvas tensão–deformação e da perda de resistência pós-pico, bem como a classificação do material segundo os critérios de perda de resistência e índice de fragilidade previstos no *framework*. A aplicação sistemática do fluxograma permite uma interpretação consistente do comportamento geomecânico do material, auxiliando na definição das abordagens de análise compatíveis com o nível de fragilidade observado, demonstrando a utilidade da metodologia como referência técnica alinhada a práticas internacionais.

Ressalta-se, entretanto, que a utilização desse tipo de abordagem deve sempre considerar o contexto normativo e regulatório aplicável em cada país ou projeto específico, avaliando-se conjuntamente normas técnicas, diretrizes institucionais e exigências legais vigentes, de modo que sejam adotados critérios compatíveis e, sempre que pertinente, mais conservadores para a avaliação da segurança geotécnica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Knight Piésold pelo suporte institucional e técnico fornecido ao longo do desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (2016) *NBR 6459: Solo — Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (2016) *NBR 6508: Solo — Determinação da massa específica dos grãos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (2016) *NBR 7180: Solo — Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (2016) *NBR 7181: Solo — Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (2016) *NBR 7182: Solo — Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (2025) *NBR 13028-3: Mineração — Elaboração, apresentação de projeto e avaliação de segurança de estruturas para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Parte 3: Disposição de rejeitos desaguados em forma de pilh*a. Rio de Janeiro.

ASTM International (2011) ASTM D4767: *Standard test method for consolidated undrained triaxial compression test for cohesive soils*. West Conshohocken PA.

International Commission on Large Dams ICOLD (2025) *Bulletin 194: Tailings Dam Safety*.