

CRITÉRIOS DE FECHAMENTO PARA BARRAGENS: PANORAMA DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA *VERSUS* DIRETRIZES INTERNACIONAIS

Aline Couto Queiroz
Engenheira Ambiental – Pimenta de Consultoria Ltda.

Giani Aparecida Santana Aragão
Engenheira Ambiental, M.Sc. – Pimenta de Ávila Consultoria Ltda.

Débora do Vale Schaper
Bióloga, M.Sc. – Pimenta de Ávila Consultoria Ltda.

RESUMO

O Fechamento de Barragens assume fundamental importância no processo de gestão de segurança dessas estruturas. Conforme a boa prática de engenharia, é recomendável que as ações de fechamento sejam consideradas ainda na fase de concepção do projeto, permitindo assim uma implantação progressiva.

Quanto a estabilidade física de barragens, dois fatores devem ser avaliados: a segurança física, pautada na avaliação da geometria do maciço, e a segurança hidráulica, com base no dimensionamento de dispositivos de drenagem/vertimento.

O objetivo deste trabalho é realizar uma avaliação dos critérios de fechamento pautados na estabilidade física de barragens, estabelecidos pela legislação brasileira vigente, como também por outros países com tradição no tema.

ABSTRACT

Mining Dams Closure undertake a fundamental importance to the structures safety management process. According to the standard of good practice, it is recommended the closure actions to be planned yet on the project's conception stage, allowing a progressive implementation.

Regarding the dam's physical stability, two factors should be assessed: the physical safety, basing upon the embankment geometry assessment, and the hydraulic safety, basing on the spillway/drainage systems dimensioning.

This work's purpose is to perform an assessment of the closure criteria defined on the tailings dam physical stability, which are established by current Brazilian legislation, as well as by other countries with tradition on this theme.

1. INTRODUÇÃO

O tema “fechamento de barragens” tem sido amplamente discutido nos últimos anos, principalmente em função de maiores exigências por parte de órgãos reguladores que passaram a requerer o planejamento dessa atividade.

Neste trabalho, entende-se por barragem as estruturas destinadas à contenção de rejeitos, sedimentos e/ou água, com exceção aos barramentos em concreto.

O fechamento de uma barragem deve ser pautado em um conjunto de atividades voltadas à adequação de sua estabilidade física, química e biológica, no longo prazo, podendo, a área de ocupação da estrutura, ser destinada a um determinado uso no cenário pós-fechamento, desde que respeitadas as boas práticas da engenharia e as legislações vigentes.

Embora um avanço considerável no que tange ao fechamento de barragens no Brasil tenha sido notado nos últimos anos, observa-se ainda que a experiência adquirida é pouco partilhada entre os profissionais do setor e os avanços no conhecimento carentes de sistematização, principalmente em termos de critérios de projeto, justificando assim a validade dessa abordagem.

No contexto de uma avaliação de critérios de fechamento pautados na estabilidade física das barragens de contenção de rejeitos, água e/ou sedimentos, foi desenvolvido o presente trabalho.

Em se tratando da estabilidade física no processo de fechamento de barragens, dois fatores devem ser avaliados: a **segurança física**, propriamente dita, e a **segurança hidráulica**.

Em prol do objetivo proposto, buscou-se, nessa oportunidade, avaliar os aspectos definidos pela legislação brasileira vigente, como também por outros países com tradição no tema, relacionados, quanto à segurança física no fechamento, aos critérios: fator de segurança (FS) e geometria dos taludes e bermas. Em termos de segurança hidráulica, o critério avaliado consistiu no tempo de retorno adotado para os sistemas extravasores e dispositivos de drenagem superficial.

O fechamento de barragens deve envolver análises de comportamento geotécnico e hidráulico bastante complexas. Assim, além de considerar os critérios discutidos neste trabalho, é muito importante atentar-se para outros aspectos, dentre eles, as características climáticas e implicações ambientais da região e a utilização futura proposta para a área.

De um modo geral, vale salientar, os critérios adotados no projeto de fechamento de barragens devem ser pautados em uma postura de durabilidade e sustentabilidade no longo prazo.

2. ASPECTOS LEGAIS

No Brasil, a norma NBR 13.028, publicada no ano de 2006, em segunda edição, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), instituída Foro Nacional de Normalização, consiste no único instrumento legal que estabelece, a nível nacional, os requisitos mínimos para a elaboração e apresentação de projeto de barragens

visando atender às condições de segurança, operacionalidade, economicidade e desativação dessas estruturas.

Os requisitos apresentados na norma em questão, em termos de estabilidade física, subdivida, conforme já mencionado, em segurança física e segurança hidráulica, encontram-se abaixo descritos.

2.1 SEGURANÇA FÍSICA

A NBR 13.028/2006 estabelece que os projetos de maciço de barragens¹ devem atender, em relação aos fatores de segurança obtidos em análises de estabilidade considerando as tensões efetivas, os seguintes valores mínimos:

- a. Ruptura do talude geral de jusante:
 - Superfície freática normal: FS mínimo de 1,5;
 - Superfície freática crítica: FS mínimo de 1,3.
- b. Ruptura do talude geral de montante:
 - Nível normal de operação da lâmina d'água: FS mínimo de 1,5;
 - Rebaixamento rápido da lâmina d'água, quando houver: FS mínimo de 1,1.
- c. Ruptura do talude entre bermas:
 - FS mínimo de 1,5.

Pelos termos “superfície freática normal e crítica”, deve-se entender, conforme conceitos definidos pela própria NBR 13.028/2006:

- *Superfície freática normal*: superfície freática admitida para as condições normais de funcionamento da drenagem interna em regime permanente, previsto em projeto;
- *Superfície freática crítica*: superfície freática admitida para as condições de não funcionamento da drenagem interna prevista em projeto.

No que tange à geometria, o referido instrumento legal estabelece apenas que os taludes entre bermas devem apresentar inclinações que garantam os fatores de segurança acima recomendados. Sobre as bermas, a norma indica que essas devem possuir largura suficiente para atender às considerações de drenagem e a instalação de instrumentos, garantindo ainda o acesso dos equipamentos de manutenção com segurança.

2.2 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

A NBR 13.028/2006 recomenda, quando do projeto do sistema extravasor de barragens no cenário de desativação, considerar a vazão efluente calculada com base na Precipitação Máxima Provável (PMP), sem borda livre.

¹ Segundo a NRB 13.028/2006, entende-se por barragem “qualquer estrutura que forme uma parede de contenção para rejeitos, para sedimentos e/ou para formação do reservatório de água”.

Para projetos de dimensionamento de drenagem superficial, a referida norma indica a utilização de quantis de chuva associados a 100 anos de tempo de retorno para dispositivos de pequenas vazões, tais como canaletas de bermas e descidas d'água; e 500 anos de tempo de retorno para dispositivos de grandes vazões, tais como canais de coleta e condução de água. A NBR 13.028/2006 recomenda ainda que sejam empregados, na construção desses dispositivos, materiais que possam se integrar ao meio ambiente, quando da desativação de barragens.

3. LITERATURA NACIONAL E INTERNACIONAL

A superficialidade com a qual a NBR 13.028/2006 aborda os critérios inerentes à etapa de fechamento de barragens evidencia a carência do Brasil, sob os aspectos legais, no desenvolvimento do tema. Frente a esse cenário, torna conveniente a avaliação das boas práticas de engenharia relacionadas ao processo de descomissionamento e fechamento dessas estruturas, estabelecidas por profissionais e entidades renomadas, em caráter nacional e internacional.

Para tanto, no presente trabalho, buscou-se avaliar a literatura de autores renomados na área de fechamento de barragens, bem como de entidades voltadas ao desenvolvimento do tema, como a *Canadian Dam Association* (CDA), a *International Commission on Large Dams* (ICOLD) e o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB).

Os critérios de fechamento levantados para a etapa de fechamento de barragens, em caráter nacional e internacional, em termos de estabilidade física e escoamento de cheias, encontram-se detalhados nos subitens a seguir.

2.3 SEGURANÇA FÍSICA

Em seu artigo intitulado "Closure of Tailings Dams", Mao & Kam (2011) descrevem as recomendações apresentadas no Guia de Fechamento de Barragens elaborado pela CDA em 2007, sobre os fatores de segurança mínimos exigidos em razão das diferentes condições de carregamento:

- a. Drenado ou longo prazo, em termos de tensões efetivas:
 - Carregamento estático: $FS = 1,5$;
 - Carregamento pseudo-estático: $FS = 1,0$;
 - Final de construção ou carregamento incomum: $FS = 1,2$ a $1,3$.
- b. Não drenado ou curto prazo, em termos de tensões totais:
 - Carregamento estático: $FS = 1,3$;
 - Carregamento pseudo-estático: $FS = 1,0$;
 - Final de construção ou carregamento incomum: $FS = 1,2$ a $1,3$.

Em termos de fechamento, Mao & Kam (2011) afirmam ser necessário considerar o cenário de longo prazo (drenado) no processo de avaliação da estabilidade de uma barragem. O cenário de carregamento sob condições não drenadas (curto prazo) deve ser analisado, segundo os autores, para assegurar que a estabilidade da

fundação seja mantida durante e imediatamente após a execução das obras de fechamento, quando essa situação de fizer aplicável.

Em relação ao tipo de carregamento, o cenário estático engloba a análise da estabilidade física da barragem em termos das características do material de construção e fundação, considerando ainda o comportamento da superfície freática no interior do maciço. O cenário pseudo-estático, por sua vez, inclui, a esses fatores, a consideração de movimentos sísmicos.

Szymanski & Davies (s.a.), em publicação intitulada “Tailings Dams – Design Criteria and Safety Evaluations at Closure”, afirmam que praticamente não existem orientações específicas quanto à avaliação da estabilidade física de barragens de rejeito para a fase de fechamento, dada à complexidade relacionada ao tema. Nesse contexto, sugerem o intervalo entre 1,5 a 1,8 para o fator de segurança mínimo de projeto, especificamente no que diz respeito à fase de fechamento da estrutura, em contrapartida ao valor de 1,5 comumente aplicado. Entretanto, tais autores deixam claro a arbitrariedade dessa sugestão, ressaltando que a definição do critério a ser utilizado deve ser pautada no conhecimento do projeto e dos diversos processos que poderão afetar a segurança física da barragem no longo prazo.

No que tange à geometria do maciço, as orientações obtidas em publicações sobre o tema são escassas. Para Mao & Kam (2011), os taludes devem apresentar inclinação global entre 1V:2,5H a 1V:3H. Para conduzir o escoamento superficial, Pinheiro (2011) recomenda, como critério de projeto, que a declividade transversal das bermas deve variar entre 5 a 10%. Trabalhos desenvolvidos sobre o tema fechamento de barragens no Brasil têm considerado como aceitável, frente à ausência de atividade sísmica no país, a configuração do maciço com inclinação do talude entre bermas de 1V:2H; e bermas com, no mínimo, 6 m de largura, sendo o ideal a largura em torno de 8 m, dotadas de leira de proteção e com declividade transversal de 5% voltada para o interior. Nos projetos tem-se observado ainda a adoção de 0,5% de inclinação longitudinal dos dispositivos de drenagem instalados ao longo das bermas e a proteção dos taludes com vegetação rasteira, de modo a minimizar a ocorrência de processos erosivos e a consequente perda de solo.

2.4 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

2.4.1 *Sistemas Extravadores*

Os autores Chambers & Higman (2011), ao correlacionarem os principais modos de falha, no longo prazo, associados às barragens de rejeito, citaram a falta de controle hidrológico como uma das causas de ruptura mais comuns, embora tenham concluído que a orientação para a determinação do tempo de recorrência a ser considerado no projeto das estruturas de vertimento tem evoluído com o passar do tempo.

Em 2011, os critérios de dimensionamento de sistemas extravadores de barragens foram revistos pela ICOLD em seu Boletim 139, denominado “Improving Tailings Dam Safety: Critical Aspects of Management, Design, Operation and Closure”, o qual passou a considerar, para a escolha do evento de precipitação, a etapa da vida útil da barragem e a classificação da consequência de sua ruptura na região à jusante, conforme Tabela 3.

Consequência	Tempo de Retorno (Operação)	Tempo de Retorno (Fechamento)
Baixa	200 a 500 anos	PMP*
Moderada	500 a 1.000 anos	PMP
Alta	1.000 a PMP	PMP

* PMP (Precipitação Máxima Provável): maior precipitação de água sobre a área de drenagem considerada, com determinada duração, que produziria fluxos inundatórios sem possibilidade de serem excedidos.

TABELA 3: Níveis Determinação do tempo de recorrência em projetos de fechamento de barragens, conforme ICOLD. (Fonte: ICOLD, 2011)

Para Szymanski & Davies (s.a.), a escolha do tempo de retorno para extravasores em projetos de fechamento de barragens deve estar associada às prováveis consequências de ruptura do maciço, em termos de número de mortes esperadas. Na opinião dos autores, a Cheia Máxima Provável (CMP)², critério mais rigoroso em termos de inundação, deve ser considerada sempre que houver probabilidade de perda de uma ou mais vidas, conforme Tabela 4.

Potencial de Vidas Perdidas	Tempo de Recorrência
1 ou mais*	Cheia Máxima Provável
0	Para a determinação do critério, considerar as perdas econômicas, os impactos ambientais, bem como as perdas sociais e culturais

*Moradores à jusante e os profissionais em locais de trabalho com períodos de exposição significativos.

TABELA 4: Determinação do tempo de recorrência em projetos de fechamento de barragens, segundo Szymanski & Davies. (Fonte: Szymanski & Davies, s.a.)

No artigo intitulado “Mine Closure”, Robertson & Shaw (s.a.) afirmam ser típica a adoção de eventos hidrológicos de grande magnitude em projetos de fechamento de barragens, cujas consequências decorrentes de falhas estruturais seriam catastróficas. Nesse contexto, para esse cenário, indicam ser comumente adotado o período de 10.000 anos como o tempo de recorrência a ser considerado.

Ainda segundo os autores, estruturas com baixo grau de impacto em decorrência de uma falha são normalmente concebidas para acomodar chuvas relacionadas a 100 anos de inundação. As barragens cujos impactos decorrentes de uma ruptura caracterizam-se como grandes, porém não catastróficos, são normalmente concebidas para acomodar o evento hidrológico relacionado a 1.000 anos de recorrência.

Os termos “catastrófico”, “baixo” e “grande” utilizados por Robertson & Shaw (s.a.) para a caracterização dos impactos decorrentes da ruptura de uma barragem não encontram-se definidos no artigo publicado pelos autores.

² A CMP é resultante da transformação chuva-vazão do evento da PMP.

O Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) recomenda que a determinação da cheia de projeto de vertedouros deva ser realizada em função da dimensão da estrutura (Tabela 5) e do nível de risco à jusante (Tabela 6), em caso de acidente com rompimento do maciço.

Os critérios empregados pelo CBDB, consolidados na Tabela 7, foram por eles ajustados a partir daqueles recomendados pelo ICOLD (Boletim 139), apresentados na Tabela 3, tornando-se efetivamente indicados, conforme Pinheiro (2011), para a aplicação no caso das barragens brasileiras.

Dimensão	Altura – H (m)	Volume – V ($\times 10^6$ m ³)
Pequena	5 < H < 15	0,005 < V < 1,0
Média	15 < H < 30	1,0 < V < 50
Grande	H > 30	V > 50

TABELA 5: Classificação das barragens quanto à dimensão, conforme CBDB. (Fonte: Pinheiro, 2011)

Risco	Perdas de Vida	Perdas Econômicas
Baixo	Nenhuma esperada (nenhuma estrutura permanente para habitação humana)	Mínima (região não desenvolvida em benfeitorias e cultivos ocasionais)
Médio	Até cinco (nenhum desenvolvimento urbano e não mais do que um pequeno número de estruturas habitáveis)	Apreciável (terras cultivadas, benfeitorias industriais e casas)
Alto	Mais do que cinco	Excessiva (comunidades, indústrias e agriculturas extensas)

TABELA 6: Classificação das barragens quanto ao potencial de risco, conforme CBDB. (Fonte: Pinheiro, 2011)

Risco	Dimensão	Cheia de Projeto
Baixo	Pequena	Cheia com período de retorno entre 50 e 100 anos
	Média	Cheia com período de retorno de 100 anos a ½ CMP
	Grande	½ CMP a 1 CMP
Médio	Pequena	Cheia com período de retorno de 100 anos a ½ CMP
	Média	½ CMP a 1 CMP
	Grande	1 CMP
Alto	Pequena	½ CMP a 1 CMP
	Média	1 CMP
	Grande	1 CMP

TABELA 7: Critérios para cálculo de cheia de projeto de vertedouros, conforme CBDB. (Fonte: Pinheiro, 2011).

Conforme Pinheiro (2011), devido à carência de estudos de PMP pontual no Brasil, tem sido prática corrente o cálculo da CMP a partir do evento da chuva decamilenar.

2.4.2 Dispositivos de Drenagem Superficial

Em relação ao dimensionamento dos dispositivos de drenagem superficial, orientações para a determinação do tempo de recorrência a ser considerado são escassas na literatura. Nesse contexto, faz-se prática viável a determinação da vazão de projeto a partir do risco hidrológico admissível durante o período de duração da obra.

O risco hidrológico associado a uma obra hidráulica é função de sua vida útil e do tempo de retorno adotado para o dimensionamento. Visando quantificar o risco hidrológico inerente à implantação de uma dada obra hidráulica, apresenta-se a equação abaixo:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n,$$

onde:

(*T*) denota o tempo de retorno associado à vazão de projeto, em anos;

(*n*) denota a vida útil estimada para a obra hidráulica, em anos; e

(*R*) denota o risco hidrológico, que significa a probabilidade de ocorrer pelo menos um evento superior à vazão de projeto no período de *n* anos.

A Tabela 8 exibe a porcentagem do risco hidrológico, em função do tempo de retorno e da vida útil da obra hidráulica. Esse tipo de avaliação subsidia a gestão dos riscos e, por conseguinte, a tomada de decisão frente às possibilidades de falha de estruturas hidráulicas, devido à ocorrência de eventos de precipitação.

TR (anos)	Vida útil da obra (anos)						
	1	5	10	20	50	100	200
100	1,0%	4,9%	9,6%	18,2%	39,5%	63,4%	86,6%
500	0,2%	1,0%	2,0%	3,9%	9,5%	18,1%	33,0%
1.000	0,1%	0,5%	1,0%	2,0%	4,9%	9,5%	18,1%
10.000	0,01%	0,05%	0,1%	0,2%	0,5%	1,0%	2,0%

TABELA 8: Correlação entre risco hidrológico, vida útil e tempo de retorno.

Para o desenvolvimento de projetos de fechamento de barragens, considerando a experiência de profissionais e a literatura disponível sobre o tema, tem-se comumente adotado, como longo prazo, o período correspondente a cerca de sete gerações de aproximadamente 35 anos, chegando a 200 anos aproximadamente.

4. COMPILAÇÃO DE CRITÉRIOS DE PROJETO QUANTO À ESTABILIDADE FÍSICA PARA APLICAÇÃO EM PLANOS DE FECHAMENTO DE BARRAGENS

O processo de análise do comportamento geotécnico e hidráulico das barragens, tendo em vista a elaboração de Planos de Fechamento, deve ser pautado na normativa nacional NBR 13.028/2006. No que tange aos requisitos de projeto estabelecidos pela NBR considerando a etapa operacional, os critérios de fechamento a serem adotados poderão, entretanto e caso necessário, assumir caráter mais restritivo do que o determinado legalmente.

Em se tratando de critérios não contemplados em instrumentos legais específicos, ainda que para a fase de operação de barragens, faz-se viável considerar as boas práticas de engenharia e a experiência de profissionais renomados na área de fechamento.

Nesse contexto, considerando a conceituação, neste trabalho, das normas e legislações existentes no Brasil, além dos critérios definidos na literatura nacional e internacional aplicáveis ao ativo em questão, encontram-se compilados nas Tabelas 9 e 10 os requisitos de projeto norteadores à avaliação da capacidade de escoamento frente à passagem de cheias e segurança física respectivamente, visando orientar o processo de elaboração dos Planos de Fechamento de barragens.

Cabe aqui destacar que os critérios apresentados consistem em premissas básicas ao desenvolvimento dos projetos de fechamento, sendo completamente passíveis de alteração frente à especificidade de cada projeto a ser desenvolvido.

Estabilidade Física	Critério	Parâmetro Avaliado	Sugestão para Projeto de Fechamento	Referência
Dimensionamento Hidrológico	Vertedouros	Tempo de Recorrência	10.000 anos ou PMP (utilizar a de maior magnitude)	Modificado NBR 13.028/2006
	Dispositivos de Drenagem Superficial	Tempo de Recorrência	A ser definido considerando o risco hidrológico (considerar TR ≥ 100 anos para dispositivos de pequenas vazões e TR ≥ 500 anos para dispositivos de grandes vazões)	Modificado NBR 13.028/2006

TABELA 9: Critérios para projeto de fechamento de barragens sob o aspecto do dimensionamento hidrológico.

Estabilidade Física	Critério	Parâmetro Avaliado	Sugestão para Projeto de Fechamento	Referência
Segurança Física	Fator de Segurança	Talude Geral de Jusante	1,5 (superfície freática crítica)	Modificado NBR 13.028/2006
		Talude Geral de Montante	1,5 (superfície freática crítica)	
		Talude entre Bermas	1,5	NBR 13.028/2006
	Geometria dos taludes e bermas	Inclinação Global	Entre 1V:2,5H a 1V:3H (mínimo)	Mao & Kam (2011), apud CDA (2007)
		Inclinação Taludes entre Bermas	1V:2H (mínimo)	Experiência em projetos na área
		Largura das Bermas	6 m (mínimo)	
		Declividade Transversal das Bermas	5%	Pinheiro (2011)
Declividade Longitudinal das Bermas	0,5% (passível de variação, em função das características da barragem)	Experiência em projetos na área		

TABELA 10: Critérios para projeto de fechamento de barragens sob o aspecto da segurança física.

5. CONSIDERAÇÕES

A abordagem aqui adotada trata-se de contribuição a um tema recente no Brasil, com brando desenvolvimento, principalmente sob os aspectos legais.

Os critérios apresentados neste relatório consistem em premissas básicas norteadoras ao desenvolvimento dos projetos de fechamento de barragens. Tais critérios, entretanto, poderão ser completamente modificados durante a elaboração de projetos, considerando as características das estruturas, das áreas onde se encontram inseridas e o uso futuro previsto.

Cabe aqui destacar que um Plano de Fechamento deve ser considerado como válido somente se elaborado considerando as melhores práticas de engenharia, a serem determinadas em conjunto com as variáveis técnicas, ambientais e econômicas envolvidas no processo, adotando ainda uma postura filosófica de durabilidade e sustentabilidade no longo prazo.

6. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Pimenta de Ávila Consultoria Ltda. pelo incentivo ao aperfeiçoamento permanente de seus colaboradores, tornando possível a realização deste trabalho.

7. PALAVRAS-CHAVE

Barragens; Plano de Fechamento de Barragem; Estabilidade Física; Critérios de Projeto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA. 2002. RUSLEFAC — Revised Universal Soil Loss Equation for Application in Canada: A Handbook for Estimating Soil Loss from Water Erosion in Canada. Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada. Ottawa. 117 pp.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, Norma Brasileira, NBR, 11.682. Estabilidade de encostas. 1991. 33p.
- [3] __.NBR 13.028. Mineração, Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. 2006. 6p.
- [4] CHAMBERS, D. M., HIGMAN, B. 2011. Long term risks of tailings dam failure.

- [5] ICOLD. Internacional Committe on Large Dams. Improving tailings dam safety, Critical aspects of management, design, operation and closure. Bulletin 139. 2011.
- [6] MAO, Y., KAM, S. 2011. Closure of Tailings Dams. Proceedings oh the Sixth Internacional Conference on Mine Closure. Volume 1.
- [7] PINHEIRO, M. C. 2011. Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração. Mário Cicareli Pinheiro. 1ª Edição. ABRH.
- [8] SZYMANSKI, M.B., DAVIES, M.P. (s.a.). Tailings dams, design criteria and safety evaluations at closure.