



00	EMIÇÃO INICIAL	FLUZ	16/05/2025	P/ CONHEC.
REVISÃO	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA	EMIÇÃO

TITULAR:



PROJETO:

PROJETO BÁSICO

BARRAGEM DE CONTENÇÃO DE ENCHENTES

RIO BARRO PRETO
CORONEL VIVIDA - PARANÁ

CÓDIGO DOCUMENTO	DESCRIÇÃO	COMPETÊNCIA
PB-BCE-CVV-ET-GER-007	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	COMPACTAÇÃO BARRAGEM



Fone: (41)3039-6274 | contato@fluz.eng.br
www.fluz.eng.br

Rua Carneiro Lobo, 468 | Sala1101 | 11º andar
Água Verde | Curitiba | Paraná
CEP: 80240-240

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Alvaro Zimmer Neto
Engenheiro Civil – CREA PR-89.434/D

COORDENAÇÃO TÉCNICA:

Ricardo Scheidt Friedrich
Engenheiro Agrônomo – CREA PR-151.736 /D





SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Normas Aplicáveis	1
3. Documentação de Projeto	2
4. Materiais	2
4.1. Enrocamento	3
5. Técnicas Construtivas	3
5.1. Tratamento da Fundação	3
5.1.1. Cortina Impermeabilização Fundação – Injeção Calda Cimento	4
5.2. Construção do Núcleo Argiloso	4
5.3. Construção da Camada de Apoio do Extravisor	5
5.4. Construção do Aterro em Enrocamento	5
5.5. Construção das Transições	6
6. Controle Tecnológico	6
6.1. Ensaio para Caracterização de Materiais	6
6.1.1. Ensaio para caracterização do solo para o núcleo	7
6.1.2. Ensaio para Caracterização do Enrocamento para os Espaldares	7
6.1.3. Ensaio para Caracterização dos Materiais para Filtros e Transições	8
6.2. Ensaio de Campo para Controle da Construção (Ensaio In Situ)	8
7. Referências.....	10

1. INTRODUÇÃO

Esta Especificação Técnica tem objetivo de orientar a execução dos aterros compactados para a construção das barragens, diques e ombreiras do projeto, visando que as estruturas atendam os padrões especificados em projeto.

O objetivo do processo de compactação consiste da redução dos vazios do material, visando obter em campo a permeabilidade adequada ao modelo teórico de cálculo, assim como o consequente aumento da densidade e capacidade para suporte de carga.

Nesta especificação são abordados entre outros: técnicas construtivas, materiais de construção e controles tecnológicos.

2. NORMAS APLICÁVEIS

Nesta especificação são citadas e foram tomadas como referências as seguintes normas e diretrizes:

- NBR 7181 – Solo – Análise Granulométrica;
- NBR 7217 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
- NBR 7180 – Solo – Determinação do limite de plasticidade;
- NBR 6459 – Solo – Determinação do limite de liquidez;
- NBR 6508 – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – determinação da massa específica;
- NBR 10838 – Solo – Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas, com emprego de balança hidrostática;
- NBR 6457 – Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;
- NBR 14545 – Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável;
- NBR 7182 – Solo – Ensaio de compactação;
- NBR 12007 – Solo – Ensaio de adensamento unidimensional;
- NBR 12004 – Solo – Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos;
- NBR 12051 – Solo – Determinação do índice de vazios mínimo de solos não-coesivos;

- NBR 13292 – Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante.

No conteúdo das normas listadas anteriormente e em algumas tabelas deste documento são feitas referências a outras normas, geralmente relacionadas à ensaios específicos, os quais devem ser observados sempre que se fizer necessário.

3. DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO

A execução da barragem deve seguir rigorosamente as prescrições de projeto e qualquer desvio ou adaptação deve ter a aprovação do projetista e ser documentado em “As built”.

A documentação do projeto da barragem é composta pelos seguintes documentos:

- Desenho de PLANTA: ilustra a barragem em planta no seu aspecto final com taludes, bancadas, acessos e indicação de estaqueamento;
- Desenho de SEÇÕES: seções transversais pelo estaqueamento a cada 20m com indicação de taludes, bancadas e zoneamento de materiais;
- Desenho de SEÇÕES DE INSTRUMENTAÇÃO: seções especiais com indicação da instrumentação;
- Desenho de PLANTA DE INSTRUMENTAÇÃO: planta indicando os pontos de instalação de instrumentação;
- MEMORIAL DE CÁLCULO: documento de texto que apresenta em forma de relatório técnico os métodos e critérios adotados no dimensionamento da estrutura e especificação dos materiais que devem ser utilizados.

Caso após a análise da documentação de projeto remanesça alguma dúvida deve-se consultar o projetista para esclarecimentos ou emissão de documentos complementares.

4. MATERIAIS

O projeto e construção devem ser desenvolvidos de modo a maximizar a utilização de materiais provenientes das escavações obrigatórias da obra para construção da barragem.

Estes materiais devem ser dispensados quando não atenderem às especificações de projeto ou ao cronograma de implantação da obra, neste caso sendo complementados por materiais provenientes de jazidas a serem definidas, se possível previamente.

Os materiais a serem utilizados devem satisfazer as exigências do projeto e respeitar as propriedades definidas nas especificações técnicas e normas técnicas aplicáveis, de acordo com os ensaios laboratoriais de caracterização. Estes ensaios são descritos adiante.

As origens dos materiais devem ser indicadas e as áreas de estocagem devem ser definidas de acordo com a logística da obra e o plano proposto no licenciamento ambiental.

O canteiro de obras deve contar com um laboratório de campo adequado e capacitado a fazer os ensaios correntes necessários à aceitação de materiais e liberação das frentes de trabalho. Ensaios mais complexos devem ser efetuados por um laboratório idôneo contratado em conjunto com a empreiteira e o empreendedor.

4.1. ENROCAMENTO

O enrocamento pode ser definido como o conjunto de material não coesivo oriundo de fragmentos rochosos.

A rocha que dará origem ao enrocamento deve ser inalterada pelo intemperismo, não sendo facilmente desintegrada ou quebrada. O diâmetro máximo do enrocamento não deve ser superior a $\frac{3}{4}$ da espessura da camada compactada.

Adotando-se uma camada compactada com espessura máxima de 40cm, o diâmetro máximo do enrocamento deve ser limitado a 30cm.

A porcentagem de fragmentos com dimensão inferior a 4,8mm não deve exceder 30%, tendo preferivelmente uma fração em torno de 10%.

Um dos requisitos é que a permeabilidade do enrocamento compactado seja superior a $k = 10^{-5}$ m/s.

5. TÉCNICAS CONSTRUTIVAS

5.1. TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO

Pelas características deste projeto optou-se em realizar dois tipos de tratamento de fundação. O primeiro é a simples remoção do solo e aluvião para exposição do topo rochoso e posteriormente a injeção da fundação para melhorar reduzir a permeabilidade.

No caso do aterro sobre maciço rochoso, a superfície da fundação que estará em contato com o aterro deve ser cuidadosamente limpa, devendo ser removido qualquer bolsão

de areia, pedregulhos, solo e fragmentos de rocha solta. A limpeza final deve ser feita manualmente, se possível com jateamento de água ou ar.

Se a superfície exposta nos níveis da fundação, após escavação, apresentar cavidades e irregularidades, estas devem ser preenchidas com concreto de regularização (concreto dental) para criar uma superfície com razoável regularidade e sem degraus. Fissuras devem ser preenchidas com calda de cimento.

5.1.1. Cortina Impermeabilização Fundação – Injeção Calda Cimento

A cortina de impermeabilização da fundação será executada pela injeção de calda de cimento em furos executados com perfuratriz operando brocas a rotopercussão.

Os primeiros furos, denominados de furos primários serão espaçados de 12 em 12 metros.

Após esse processo serão realizados novos ensaios de perda d'água para comprovar a necessidade de novas injeções.

Em função dos seus resultados, depois de injetados são intercalados os furos secundários, perfazendo um espaçamento de 6 m entre as duas fases de perfuração.

Novamente a avaliação dos resultados definirá a necessidade das injeções terciárias que distarão apenas 3 m, dos primários e secundários.

O processo é mais bem descrito em documento específico do tratamento da fundação do barramento.

5.2. CONSTRUÇÃO DO NÚCLEO ARGILOSO

Os solos argilosos compactados serão aplicados no núcleo da barragem com o objetivo de criar uma barreira com baixa percolação de água. O processo de construção será através de aterro compactado em camadas com controle rigoroso.

O lançamento da camada de aterro deve ser precedida da inspeção, aprovação e liberação da superfície da fundação por técnico devidamente habilitado.

O material proveniente da jazida deve ser depositado por caminhão basculante sobre o pátio de compactação e espalhado em camadas de 20cm (material solto). Deve-se verificar a sua umidade e se necessário corrigida.

A correção para aumento da umidade é feita por aspersão de água com caminhão pipa. A correção para redução da umidade é feita por revolvimento do solo com escarificador para que a secagem ocorra por evaporação.

A compactação do material argiloso deve ser feita com rolo corrugado (pé-de-carneiro). A energia de compactação (número de passadas) deve ser aferida de acordo com o material e equipamento em comparação com os resultados dos ensaios.

Como referência inicial para a pista experimental de teste da compactação sugere-se executar entre 8 e 10 passadas do rolo com velocidade menor ou igual a 4km/h, e sequentemente ajustada conforme necessidade.

Deverá ser obtido um grau de compactação maior que 98% do ensaio de Proctor normal.

Os lançamentos das camadas de aterro devem ser feitas obrigatoriamente na direção paralela ao eixo longitudinal da barragem.

Deve-se evitar que a circulação de equipamentos seja feita por caminhos preferenciais, optando-se por circulação aleatória para que não sejam criadas áreas diferenciadas ou caminhos de percolação.

O teor de umidade do solo argiloso deve estar na faixa de $\pm 2\%$ da umidade ótima.

Nas proximidades do contato com muros de encontro ou com a ombreira a compactação deve ser feita com compactador manual. As camadas lançadas devem reduzir-se a 10cm e o teor de umidade do material deve estar entre a umidade ótima e $+2\%$ (mais 2%). O mesmo se aplica no entorno da instrumentação.

5.3. CONSTRUÇÃO DA CAMADA DE APOIO DO EXTRAVASOR

Para o apoio do extravasor de concreto, o material da camada de base deverá ser compactado até atingir, no mínimo, **105% da densidade seca máxima determinada pelo ensaio Proctor Modificado**, conforme a norma ABNT NBR 7182, com controle de umidade dentro da faixa de $\pm 2\%$ da umidade ótima.

5.4. CONSTRUÇÃO DO ATERRO EM ENROCAMENTO

As zonas de enrocamento estão localizadas nos espaldares da barragem e tem a função de conferir estabilidade ao maciço.

O lançamento do enrocamento deve ser feito pela técnica da deposição em cordão, onde o material é depositado de forma concentrada sobre a camada de base e então é espalhado e nivelado pela lâmina de um trator de esteiras, objetivando-se obter-se uma camada de espessura uniforme e superfície regular.

As camadas de material solto devem ter espessura de até 0,6m.

Antes e durante à compactação deve o enrocamento deve ser molhado adicionando-se aproximadamente 20% do seu volume em água. A abundância de água no processo de compactação de enrocamento é recomendada.

A compactação do enrocamento deve ser feita através de rolo vibratório liso de 20 toneladas ou mais. A energia de compactação (número de passadas) deve ser aferida de acordo com o material, equipamento em comparação com o resultado dos ensaios. Sugere-se fazer um lançamento em pista experimental para calibrar a energia de compactação.

5.5. CONSTRUÇÃO DAS TRANSIÇÕES

No contato entre o material argiloso do núcleo e o enrocamento está prevista uma transição composta de material granular que deve atender os critérios de filtragem e retenção.

As camadas de filtros ou transições verticais devem ser lançadas antes da camada de aterro adjacente para não haver contaminação.

6. CONTROLE TECNOLÓGICO

O controle tecnológico pode ser dividido em ensaios para caracterização de materiais e ensaios para controle da construção.

6.1. ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS

Tratam-se de ensaios feitos em laboratório utilizando amostras das jazidas. Tem por objetivo fornecer ao projeto o tipo e a qualidade do material disponível.

Cada tipo de aterro (solo, enrocamento, filtro, transição) deve ser verificado através de ensaios específicos, os quais são apresentados nas tabelas a seguir.

6.1.1. Ensaios para caracterização do solo para o núcleo*Quadro 1 – Ensaios de laboratório para caracterização de solo.*

Tipo de Ensaio	Norma relacionada
Granulométrico por Peneiramento e Sedimentação	NBR 7181
Limite de Plasticidade	NBR 7180
Limite de Liquidez	NBR 6459
Peso específico real dos grãos	NBR 6508
Massa específica aparente	NBR 10838
Teor de umidade	NBR 6457
Permeabilidade a carga variável	NBR 14545
Compactação (Proctor Normal)	NBR 7182
Adensamento Unidimensional ou Edométrico	NBR 12007

6.1.2. Ensaios para Caracterização do Enrocamento para os Espaldares

As rochas a serem utilizadas como enrocamento da barragem, além de granulometria adequada, devem ser inertes e o mais estáveis possível, ou seja, devem ter característica de baixa alterabilidade.

Em enrocamentos, espera-se a ocorrência de dois processos básicos de alteração: a desagregação, provocada pelas variações de umidade e temperatura da rocha e a decomposição, ocasionada pelas reações físico-químicas dos minerais constituintes da rocha.

A intensidade com que estes processos de alteração atuam no enrocamento é função basicamente, do tipo da rocha e das condições atmosféricas.

Quadro 2 – Ensaios de laboratório para caracterização de enrocamentos.

Tipo de Ensaio	Norma relacionada
Abrasão Los Angeles	NBR NM 51
Índice de forma	NBR 7809
Granulometria	NBR 7217
Cisalhamento direto	ASTM D3080
Resistência ao desgaste	NBR 12042
Resistência ao intemperismo	NBR 15845

6.1.3. Ensaios para Caracterização dos Materiais para Filtros e Transições*Quadro 3 – Ensaios de laboratório para caracterização de filtros e transições.*

Tipo de Ensaio	Norma relacionada
Granulométrico por peneiramento	NBR 7181
Densidade Mínima	NBR 12004
Densidade Máxima	NBR 12051
Permeabilidade	NBR 13292
Índice de vazios máximo de solos não coesivos	NBR 12004
Índice de vazios mínimo de solos não coesivos	NBR 12051

6.2. ENSAIOS DE CAMPO PARA CONTROLE DA CONSTRUÇÃO (ENSAIOS IN SITU)

Os ensaios de campo devem ser utilizados como ferramenta de controle da construção, portanto devem ser executados na frequência especificado ou quando houver solicitação da supervisão da obra.

Cada camada de aterro deve ser verificada através de ensaios específicos para cada material, os quais são apresentados nas tabelas a seguir, e o lançamento de uma nova camada não deve ser liberada enquanto o ensaio não valide a qualidade da camada de base.

Quadro 4 – Ensaios de campo para controle da compactação do solo.

Tipo de Ensaio	Norma relacionada
Controle da compactação pelo método de Hilf	NBR 12102
Massa específica aparente (cilindro de cravação)	NBR 9813

Quadro 5 – Ensaios de campo para controle da compactação de filtros e transições.

Tipo de Ensaio	Norma relacionada
Densidade in situ	
Permeabilidade in situ	

Quadro 6 – Ensaios de campo para controle da compactação de enrocamento.

Tipo de Ensaio	Norma relacionada
Granulométrico in situ	
Densidade in situ	ASTM 5030



BARRAGEM CONTENÇÃO DE ENCHENTES – CORONEL VIVIDA

PB-BCE-CVV-ET-GER-007-R00 – ET COMPACTAÇÃO

Independente dos ensaios, deve-se constantemente realizar o controle da construção através do acompanhamento e observação visual de todas as operações construtivas.

Deve-se realizar o controle topográfico para locação dos offsets, instalação dos instrumentos e controle das camadas. O levantamento topográfico deve ser preciso e de acordo com as prescrições da NBR 13.333.



7. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (BRASIL) Manual do Empreendedor – Volume VI - Guia para a Construção de Barragens / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2015.

BRITO, A. M. A. C. Compactação de Aterros de Barragens – Novas Metodologias de Controlo. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2006.

MATERÓN, Bayardo. Avaliação crítica de experiência de projetos e construção de barragens de terra e enrocamento. XXX SNGB. Seção Técnica Tema 11.

COSTA, Walter Duarte. Geologia de Barragens. Oficina de Textos. São Paulo. 2012.