

**RESERVATÓRIO INTERMEDIÁRIO**  
**DIQUE 6B**  
**ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM INTERNA**  
**MEMÓRIA DE CÁLCULO**

00	APROVADO EM 06/02/2014 – VER RI3-D06B-ITT-CDQ-RR-0004	MIS	MIS	FEV/14
Nº	Descrição	Prep.	Aprov.	Data
REVISÕES				

Estado do Documento:

**APROVADO PARA CONSTRUÇÃO**


**Intertechne**

**ENGEVIX**


**UHE BELO MONTE**

Elaborador	<u>MIS</u>	INTERTECHNE: Rogério Piovesan Gerente/Coordenador	ENGEVIX: Luiz Bianchi Gerente/Coordenador	PCE: Liberio Alves da Silva Gerente/Coordenador	NESA:
Verificador	<u>SAS</u>	Kamal F.S. Kamel Responsável Técnico CREA PR – 20298/D	José Antunes Sobrinho Responsável Técnico CREA PR – 21.207-4	José Eduardo Moreira Responsável Técnico CREA RJ – 21112/D	Diretor de Construção
Supervisor	<u>SAS</u>	Paulo V. Reis Gerente Geral Consórcio Projetista			Data: SET/13

Nº Cliente ou Código Unificado

RI3-D06B-ITT-CDQ-MC-0001

Rev.

00

**RESERVATÓRIO INTERMEDIÁRIO**  
**DIQUE 6B**  
**ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM INTERNA**  
**MEMÓRIA DE CÁLCULO**

1.	INTRODUÇÃO .....	3
2.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....	3
3.	SUMÁRIO E LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	3
4.	DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA E DAS CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS DE FUNDAÇÃO DAS OBRAS DE TERRA E ENROCAMENTO .....	4
5.	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM .....	5
6.	ANÁLISE DE FLUXO .....	5
6.1.	GERAL .....	5
6.2.	SEÇÕES DE ANÁLISE .....	5
6.3.	MODELO HIDROGEOLÓGICO .....	9
6.3.1	PARÂMETROS HIDRÁULICOS .....	9
6.3.2	CONDIÇÕES DE CONTORNO .....	10
6.3.3	METODOLOGIA DE ANÁLISE .....	11
6.3.4	RESULTADOS .....	12
7.	DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM INTERNA .....	12
7.1.	GERAL .....	12
7.2.	FILTRO VERTICAL .....	12
7.3.	TAPETE DRENANTE .....	13
7.3.1	TAPETE DRENANTE – DIMENSIONAMENTO TRANSVERSAL .....	14
7.3.2	TAPETE DRENANTE – DIMENSIONAMENTO LONGITUDINAL .....	15
8.	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM .....	17

**RESERVATÓRIO INTERMEDIÁRIO**  
**DIQUE 6B**  
**ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM INTERNA**  
**MEMÓRIA DE CÁLCULO**

**1. INTRODUÇÃO**

O presente documento tem como objetivo apresentar os cálculos de percolação e dimensionamento do sistema interno de drenagem referentes ao projeto executivo do Dique 6B, das obras do Reservatório Intermediário da UHE Belo Monte.

**2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

- RI3-D099-ITT-CGG-DE-0002 – RESERVATÓRIO INTERMEDIÁRIO – DIQUES 6A E 6B – LOCALIZAÇÃO DAS INVESTIGAÇÕES E SEÇÕES GEOLÓGICO-GEOTECNICAS– PLANTA
- RI3-D06B-ITT-CGS-DE-0001 – RESERVATÓRIO INTERMEDIÁRIO – DIQUE 6B – SEÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS – SEÇÕES 1 E 2
- RI3-D06B-ITT-CES-DE-0001 – RESERVATÓRIO INTERMEDIÁRIO – DIQUE 6B – ESCAVAÇÃO COMUM – PLANTA
- RI3-D06B-ITT-CTG-DE-0001 – RESERVATÓRIO INTERMEDIÁRIO – DIQUE 6B – ATERRO – PLANTA
- RI3-D06B-ITT-CTG-DE-0021 – RESERVATÓRIO INTERMEDIÁRIO – DIQUE 6B – DRENAGEM INTERNA – PLANTA

**3. SUMÁRIO E LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

A UHE Belo Monte será construída no rio Xingu, nos Municípios de Altamira e Vitória do Xingu, no Estado do Pará.

O arranjo geral da UHE Belo Monte se caracteriza por apresentar sítios de obras distintos e distantes entre si, desde o barramento principal das calhas naturais do rio Xingu, no sítio denominado Pimental, até o sítio Belo Monte, onde será construída a Casa de Força Principal do empreendimento.

A distância entre estes dois sítios, em linha reta, é de aproximadamente 40km. Entre os sítios será construído um sistema de adução à Casa de Força Principal, constituído

## UHE BELO MONTE

pelo Canal de Derivação e pelo Reservatório Intermediário, sendo este último formado por diques e canais de transposição.

O dique 6B está localizado no Reservatório Intermediário, entre os diques 6A e 6C, tendo sua estaca E.0+0,00 nas coordenadas N 9.652.331,748 e E 413.776,893.

#### 4. DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA E DAS CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS DE FUNDAÇÃO DAS OBRAS DE TERRA E ENROCAMENTO

O dique 6B apresenta uma extensão de aproximadamente 300,00 metros e altura máxima de 9,00 metros. A crista do dique encontra-se na El.100,00 com largura de 5,00m. O dique terá seção homogênea em solo compactado.

O talude de montante apresenta inclinação de 1V:1,8H com berma de 3,00m na El.92,50 (pé da proteção do rip-rap). O talude está protegido contra ondas por uma camada de rip-rap, acima da El. 92,50, com  $D_{50min}$  de 41cm e largura de 2,50m.

Entre o rip-rap e o aterro de solo compactado está prevista uma camada de transição única compactada com 1,00m de largura.

O Talude de jusante apresenta inclinação de 1V:1,8H da crista até a base do dique.

Na região do dique 6B ocorre uma cobertura contínua de colúvio com espessura de 1,00m. Abaixo das delgadas coberturas de colúvio encontra-se o solo residual de ritmito, mais espesso nas ombreiras e afunilando-se em direção a região central do dique.

Na ombreira esquerda a camada de ritmito possui até 5 metros de profundidade. Sob ela encontra-se uma camada de até 35 metros de solo residual jovem de migmatito.

A região da ombreira direita possui ainda uma camada de solo residual maduro de migmatito com espessura de aproximadamente 1,00m entre a camada de solo residual de ritmito e solo residual jovem de migmativo.

Para fundação do aterro compactado foi prevista a remoção do solo coluvionar em uma espessura de 1,00m em toda a extensão do dique.

A trincheira exploratória, localizada entre as estacas E.4+18,66 e E.8+2,46, será escavada com uma profundidade de 3,00m a partir da superfície de escavação, podendo ser aprofundada até 6,00m (valor limite) conforme condições geológicas da região.

O sistema de drenagem interna do dique será constituído de um filtro vertical de areia com espessura de 70cm e topo na El.97,50, correspondente ao N.A. Máximo, e um tapete drenante sob o espaldar de jusante, com seção tipo “sanduíche” de 3 camadas (3-C/4A-C/3-C) com espessuras de 40cm, 40cm e 20cm de baixo para cima respectivamente.

Será executado um dreno no ponto mais baixo com o objetivo de possibilitar a saída transversal da água proveniente do fluxo longitudinal. O dreno será composto por 5

## UHE BELO MONTE

camadas (3-C, 4A-C, 4B-C, 4A-C, 3-C) com espessuras de 40cm, 30cm, 30cm, 30cm e 20cm de baixo para cima respectivamente, e largura de 2,00m.

Na saída do tapete drenante a jusante, deverá ser executado um dreno de pé composto de camadas de transição recobertas por enrocamento de proteção.

### 5. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM

O sistema de drenagem do Dique 6B compõe-se de filtro vertical, à jusante do núcleo impermeável e tapete drenante do tipo “sanduíche” de 3 camadas sob os espaldares a jusante.

O filtro vertical de areia, com espessura de 0,70m, tem o objetivo de captar a água que percola pelo maciço do Dique, conduzindo esta vazão até o tapete drenante à jusante.

O tapete drenante tem a função de conduzir a vazão captada pelo filtro vertical, bem como aquela que percola pelo maciço de fundação, sendo que sua descarga se dá parte no sentido transversal e parte no sentido longitudinal ao eixo do Dique.

### 6. ANÁLISE DE FLUXO

#### 6.1. GERAL

Este item apresenta as análises de percolação desenvolvidas com a finalidade de dimensionamento do filtro vertical e tapete drenante sob o espaldar de jusante do Dique 6B, diante das condições de solicitação às quais o mesmo será submetido durante sua vida útil.

A análise de percolação pelo interior do aterro e da fundação do dique é realizada com o auxílio de modelo numérico (método dos elementos finitos), que permite avaliar a posição da linha freática, a distribuição das poropressões, o gradiente hidráulico e as vazões específicas.

Os resultados permitem avaliar o comportamento geral do fluxo da água, dando base para a determinação do sistema de drenagem e seu dimensionamento e para as proteções contra o arraste de materiais das fundações em solo.

#### 6.2. SEÇÕES DE ANÁLISE

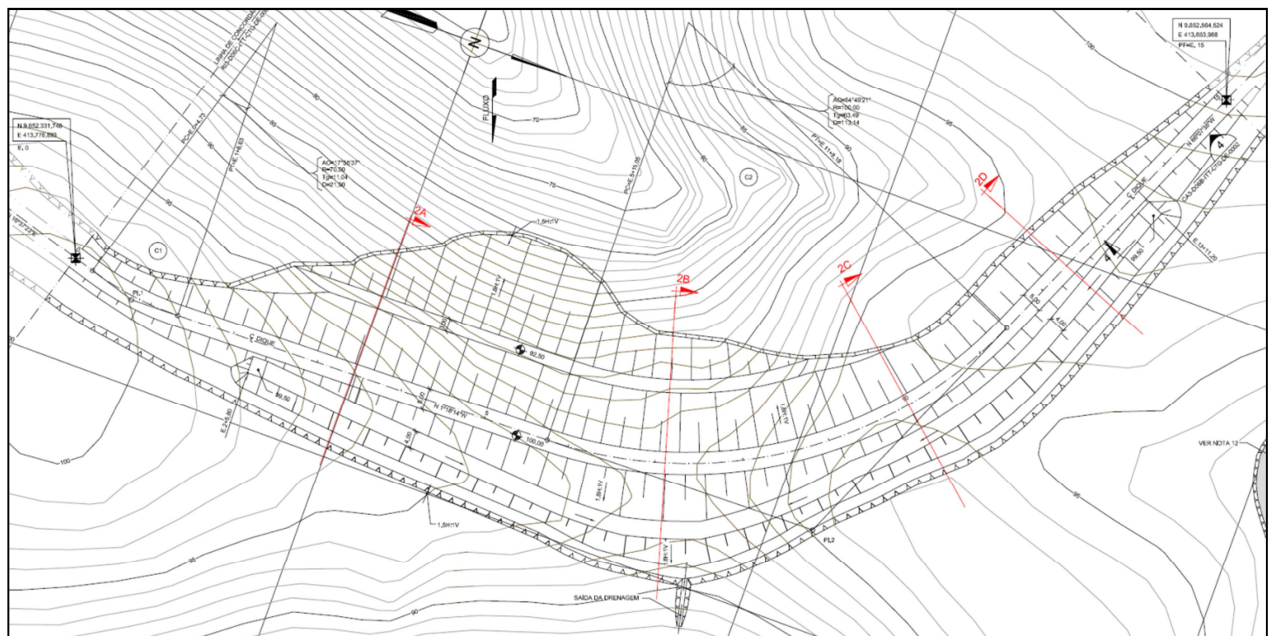
Foram adotadas 4 seções para as análises, conforme indicadas na figura 6.1 a seguir. A seção 2A e a seção 2D representam as ombreiras direita e esquerda respectivamente. As seções 2B e 2C representam a área de baixada do dique.

**UHE BELO MONTE**

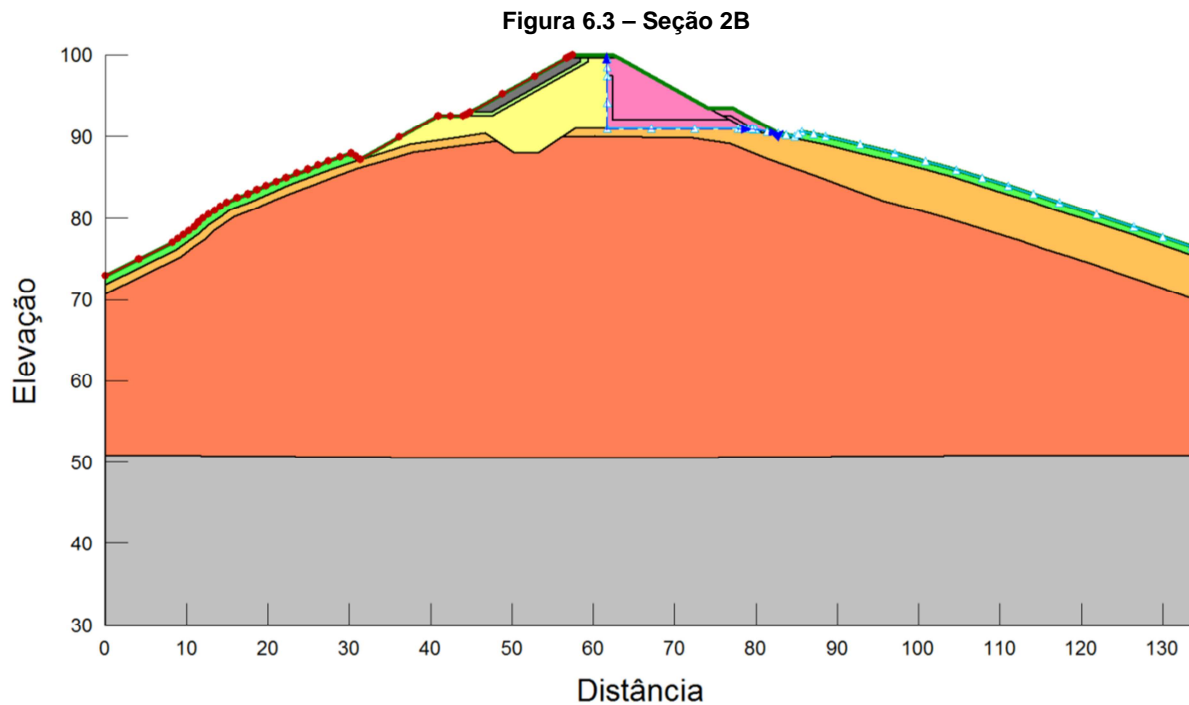
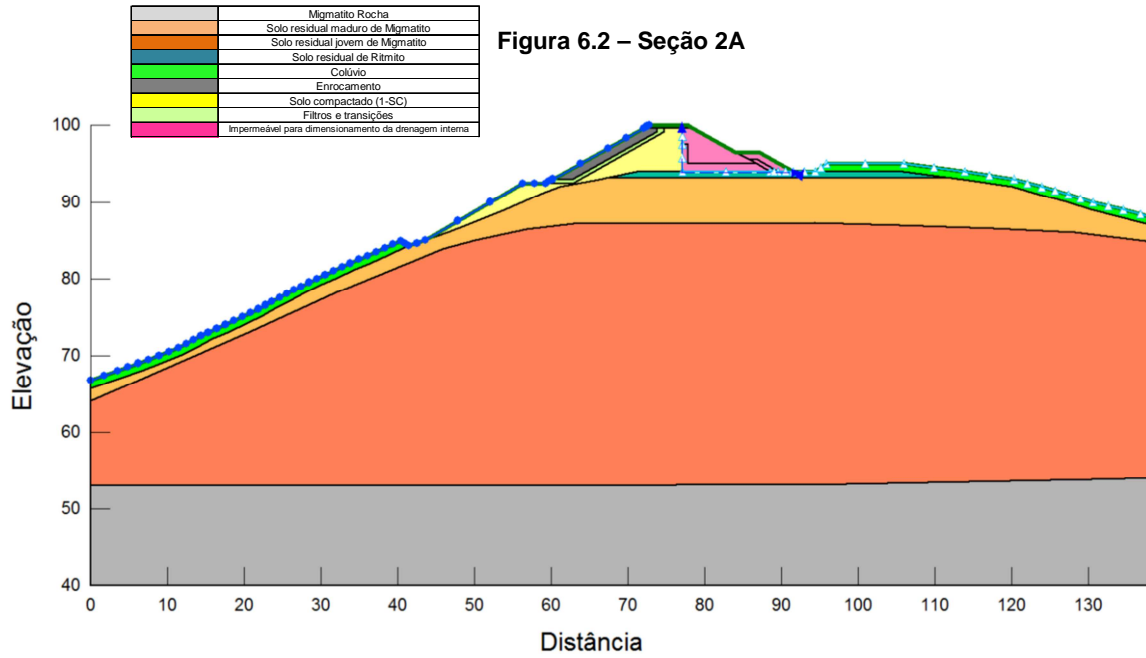
**Tabela 6.1 – Localização das seções analisadas**

Seção	Estaca
2A	3+8,70
2B	7+3,00
2C	10+0,00
2D	12+10,00

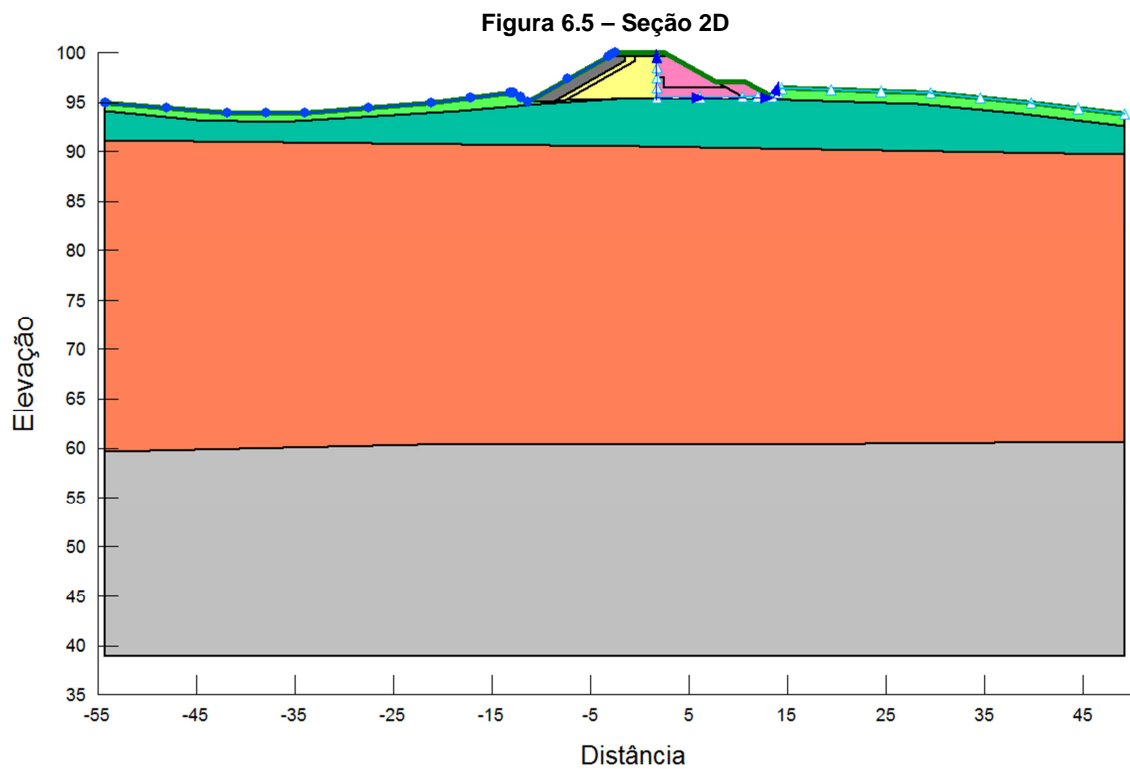
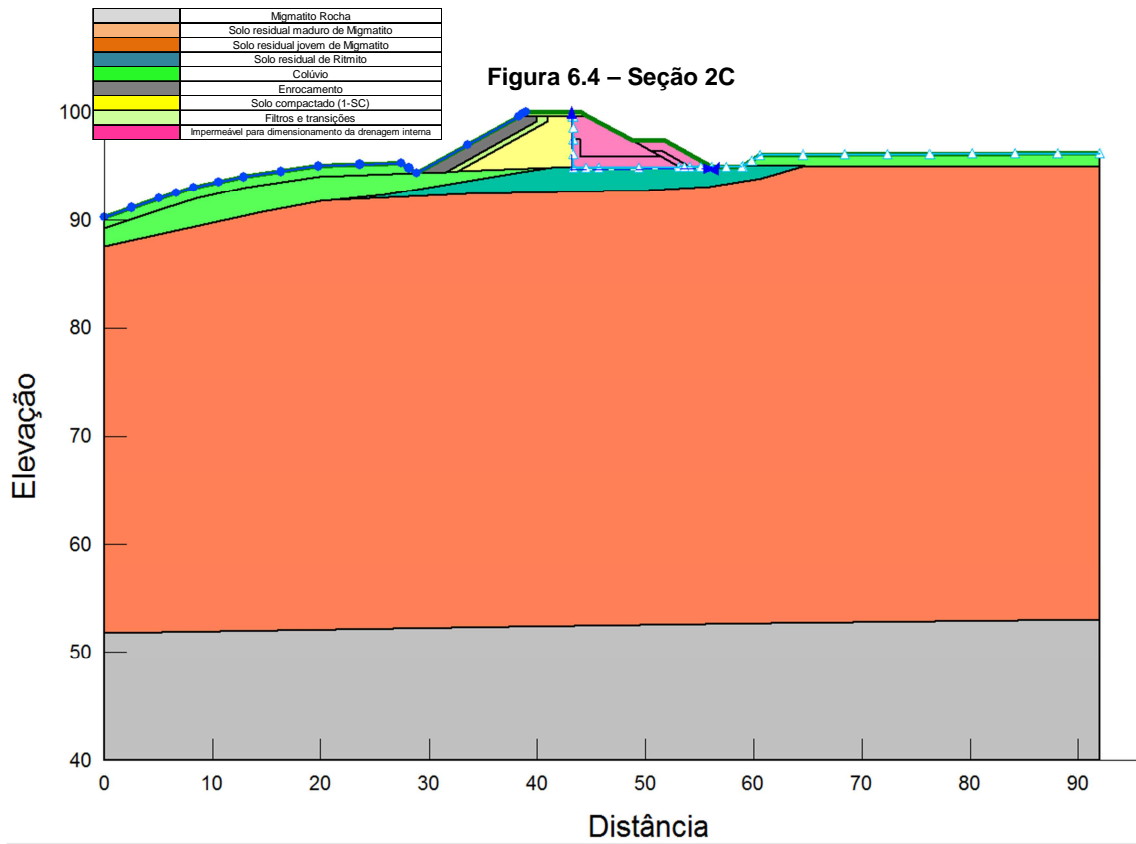
**Figura 6.1 – Localização das seções de análises - Planta**



**UHE BELO MONTE**



**UHE BELO MONTE**





**UHE BELO MONTE**

**6.3. MODELO HIDROGEOLÓGICO**

**6.3.1 Parâmetros Hidráulicos**

Os parâmetros de condutividade hidráulica dos materiais naturais e de construção adotados nas análises basearam-se nas campanhas de sondagens e ensaios realizados em etapas anteriores ao projeto básico, em ensaios de infiltração realizados nas campanhas de sondagens, em ensaios de permeabilidade “in situ” realizados em fundo de poços e trincheiras de investigação, bem como na literatura técnica e experiências de obras anteriores.

A condutividade hidráulica do solo de fundação, considerado isotrópico, foi definida a partir dos resultados e correlações de ensaios de caracterização e permeabilidade.

As tabelas a seguir apresentam os valores de condutividade hidráulica utilizados nas análises. Considerou-se anisotropia de condutividade hidráulica com razão  $k_H/k_V=1$ , exceto para o solo argiloso compactado (1C), onde considerou-se  $k_H/k_V=4$ , devido ao efeito causado pela compactação do material.

**Tabela 6.2 Condutividade Hidráulica dos materiais de fundação**

<b>Material</b>	<b><math>k_h^{(*)}</math> (cm/s)</b>	<b><math>k_H/k_V</math></b>
Migmatito	$1 \times 10^{-5}$	1
Solo Residual Jovem de Migmatito	$3 \times 10^{-4}$	1
Solo Residual Maduro de Migmatito	$1 \times 10^{-4}$	1
Solo Residual de Ritmito	$1 \times 10^{-4}$	1
Colúvio	$1 \times 10^{-4}$	1

(\*) Permeabilidade saturada.

**Tabela 6.3 Condutividade Hidráulica dos materiais de aterro**

<b>Material</b>	<b><math>k_h^{(*)}</math> (cm/s)</b>	<b><math>k_H/k_V</math></b>
Solo Compactado (1-C)	$4 \times 10^{-6}$	4
Areia (3-C)	$1 \times 10^{-2}$	1
Enrocamento	10	1
Transição Fina (4A)	$5 \times 10^{-1}$	1
Transição Média (4B)	10	1

(\*) Permeabilidade saturada.

## UHE BELO MONTE

O filtro vertical no interior do dique será constituído exclusivamente por areia (3-C) e terá espessura de 0,7m. Com estas características o filtro apresenta a permeabilidade disponível igual à de seu único material constituinte, qual seja,  $1,0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ .

Para os cálculos do filtro horizontal “sanduíche” considera-se uma média ponderada das permeabilidades dos materiais constituintes.

Nesse caso o filtro horizontal tipo sanduiche será constituído por três camadas, totalizando 1,00m de espessura, sendo duas camadas de areia (3-C) com espessura de 40cm e 20cm (de baixo para cima) respectivamente e uma intermediária de 0,4m de transição (4A-C). Com este filtro tem-se a permeabilidade disponível de:

$$K_{\text{disponível}} = \frac{((40 + 20) \times 1,0 \cdot 10^{-2} + 40 \times 5,0 \cdot 10^{-1})}{100} = 2,06 \cdot 10^{-1} \text{ cm/s}$$

O dreno com 5 camadas no ponto mais baixo será constituído por duas camadas de areia (3-C) com espessura de 40cm e 20cm (de baixo para cima) respectivamente, duas camadas de transição fina (4A-C) com espessuras de 30cm cada e uma camada intermediária de 30cm de transição média (4B-C), totalizando 1,50m. Portanto, tem-se a permeabilidade disponível para o dreno de:

$$K_{\text{disponível}} = \frac{((40 + 20) \times 1,0 \cdot 10^{-2} + (30 + 30) \times 5,0 \cdot 10^{-1} + 30 \times 10)}{150} = 2,20 \text{ cm/s}$$

As permeabilidades equivalentes adotadas para o filtro vertical, tapete drenante e para o dreno estão apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 6.4 – Condutividade hidráulica dos dispositivos de drenagem**

Dispositivos	Direção do fluxo	Espessura total (em cm)	$k_{\text{disp}}$ (em cm/s)
Filtro vertical	Vertical	70	$1,0 \times 10^{-2}$
Filtro sanduíche	Horizontal	100	$2,06 \times 10^{-1}$
Dreno	Horizontal	150	2,20

### 6.3.2 Condições de Contorno

As análises do presente estudo foram feitas para o nível estático máximo normal do reservatório, na cota 97,5 m, que corresponde à carga total aplicada a montante da seção.

## UHE BELO MONTE

Devido às cotas onde estará fundado o dique e à conformação do relevo local, não ocorrerá o estabelecimento de níveis de água que incidam diretamente sobre o espaldar de jusante do aterro. Desta maneira, considerou-se que a condição de contorno a jusante é de superfície livre, que permite que a simulação das condições geométricas e hidrogeológicas pelo modelo conduzam ao estabelecimento da linha freática e do caminhamento do fluxo de percolação.

Considerou-se ainda que todo o fluxo percolado pelo maciço e parte do fluxo pela fundação seja captado e esgotado pela drenagem interna. Dessa forma, o modelo apresenta condição permanente bidimensional.

Acrescenta-se que as condições de contorno dos sistemas de drenagem foram consideradas nas interfaces do solo de vedação com os materiais drenantes (filtros, transições e enrocamento).

### 6.3.3 Metodologia de Análise

Com base nas seções de análise, parâmetros geotécnicos e condições de contorno; foi utilizado o programa SEEP/W do pacote GeoStudio 2012 da GEO-SLOPE INTERNATIONAL LTD., para análise da percolação.

O programa Seep/W aplica o Método dos Elementos Finitos na análise de fluxo permanente ou transiente em meios porosos saturados e/ou não saturados. A definição da posição da linha freática é feita através do processamento não-linear da variação da condição de contorno dos nós dos elementos, aos quais é atribuída a condição de superfície de percolação ou fluxo nulo.

As análises de percolação foram conduzidas considerando as seções características apresentadas nas Figuras 6.2 a 6.5, do item 6.2.

A partir das seções selecionadas, o programa gera a malha não-estruturada de elementos finitos triangulares.

A análise realizada considera a condição de fluxo permanente bidimensional, aplicando os parâmetros e condições de contorno previamente estabelecidos. Considera-se a condutividade hidráulica constante, independente do estado de saturação do material.

Nas seções analisadas foram ainda definidas linhas para mensuração do fluxo junto aos elementos do sistema de drenagem: Filtro Vertical e Tapete Drenante.

Com base no fluxo incidente no sistema de drenagem interna determinado pelo SEEP/W, pode-se definir a vazão de cálculo. Observa-se que a vazão de cálculo considerada é majorada dez vezes em relação ao valor determinado pelo SEEP/W. Observa-se ainda que o valor considerado para dimensionamento do filtro horizontal é dado pelo somatório dos valores incidentes nos filtros vertical e horizontal, dada a condição de percolação do sistema de drenagem.

No caso de fluxo vertical (filtro vertical) adota-se gradiente unitário. Para o dimensionamento transversal do tapete drenante, no entanto, considera-se gradiente máximo de 10%.

## UHE BELO MONTE

### 6.3.4 Resultados

Os resultados das simulações numéricas da percolação pelas seções são apresentados no Anexo 1. Nestas Figuras são apresentadas a distribuição das isolinhas das cargas hidráulicas totais e os valores de vazão específica incidentes em cada elemento do sistema de drenagem.

A Tabela 6.5 apresenta os valores de vazão unitária para o filtro vertical e para o tapete drenante (que capta a percolação da advinda da fundação e do filtro vertical) para as seções analisadas que serão utilizados para o dimensionamento do sistema de drenagem interna da barragem.

Adota-se um fator de segurança igual a dez, consideração usual em função da variação da condutividade hidráulica dos materiais drenantes e de fundação adotados em projetos do gênero.

**Tabela 6.5 – Valores de vazão específica incidentes no sistema interno de drenagem**

Seção	Vazão Incidente (m <sup>3</sup> /s/m)		Vazão Majorada (m <sup>3</sup> /s/m) (1)		Vazão Total (m <sup>3</sup> /s/m) (2)
	Filtro Vertical	Tapete drenante	Filtro Vertical	Tapete drenante	
2A	8,69E-08	6,81E-07	8,69E-07	6,81E-06	7,68E-06
2B	4,53E-08	3,06E-07	4,53E-07	3,06E-06	3,51E-06
2C	1,62E-07	3,52E-06	1,62E-06	3,52E-05	3,68E-05
2D	4,87E-07	1,87E-06	4,87E-06	1,87E-05	2,36E-05

NOTA: (1) Dez vezes superior ao incidente.

(2) A vazão total no tapete drenante é a somatória dos valores majorados dos filtros vertical e horizontal.

## 7. DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM INTERNA

### 7.1. GERAL

Neste item apresenta-se a metodologia e os cálculos adotados para dimensionamento do filtro vertical e do tapete drenante do dique 6B. O dimensionamento dos dispositivos é feito aplicando-se a lei de Darcy.

### 7.2. FILTRO VERTICAL

O dimensionamento do filtro vertical pode ser realizado considerando-se a vazão no sentido montante/jusante (fluxo transversal), obtida pela análise numérica.

Para o dimensionamento foram consideradas as seguintes premissas de cálculo:

- Majoração de 10 vezes o valor da vazão calculada absorvida pelo filtro.
- Gradiente unitário, correspondente à condição de fluxo vertical.

## UHE BELO MONTE

- Filtro com espessura de 0,7m.
- Permeabilidade disponível do filtro  $1,0 \times 10^{-2}$ cm/s

O dimensionamento é feito através da verificação da permeabilidade necessária para capacitar o sistema a drenar a vazão de cálculo e a permeabilidade disponível do material utilizado, considerando a Lei de Darcy:

$$Q_{calc} = k_{necessário} \cdot i \cdot A \rightarrow k_{necessário} = \frac{Q_{calc}}{i \cdot A}$$

Onde:

$Q_{calc}$  vazão de cálculo, correspondente a vazão absorvida pelo filtro.

$i$  gradiente hidráulico, considerado unitário para o filtro vertical.

$k_{necessário}$  condutividade hidráulica necessária para o material componente do filtro vertical.

$A$  área do filtro por metro linear, equivalente a sua espessura.

O atendimento à condição de cálculo se dá quando a permeabilidade do material proposto (areia com  $k=1 \times 10^{-2}$ cm/s) é superior à permeabilidade necessária.

A Tabela 7.1 apresenta os valores de vazão de cálculo e demais elementos para a estimativa da permeabilidade necessária.

**Tabela 7.1 – Filtro Vertical – Verificação do atendimento do sistema proposto**

Seção	Vazão (m <sup>3</sup> /s/m)	Gradiente	Espessura (m)	K requerida (m/s)	K disponível (m/s)
2A	8,69E-07	1	0,70	1,24E-06	1,00E-04
2B	4,53E-07	1	0,70	6,47E-07	1,00E-04
2C	1,62E-06	1	0,70	2,31E-06	1,00E-04
2D	4,87E-06	1	0,70	6,96E-06	1,00E-04

Como se verifica na Tabela 7.1 o filtro vertical proposto, composto por areia e com espessura contínua de 0,7m/1,0m, apresenta capacidade de drenagem adequada para as vazões previstas.

### 7.3. TAPETE DRENANTE

O dimensionamento do tapete drenante engloba duas verificações: considerando a vazão observada proveniente do fluxo transversal, no sentido montante para jusante e considerando fluxo longitudinal pela ombreira e no sentido de pontos baixos.

## UHE BELO MONTE

### 7.3.1 Tapete Drenante – Dimensionamento Transversal

O dimensionamento transversal do tapete drenante pode ser realizado considerando-se a vazão no sentido montante/jusante, obtida pela análise numérica.

Para o dimensionamento foram consideradas as seguintes premissas de cálculo:

- Majoração de 10 vezes o valor da vazão calculada absorvida pelo filtro (estimada na modelação numérica).
- Tapete drenante funcionando em carga, com gradiente hidráulico máximo igual a 10%.
- Considerado como elemento drenante o tapete horizontal sanduíche, cujas características são indicadas no item 6.3.1.

O dimensionamento é feito através da verificação da permeabilidade necessária para capacitar o sistema a drenar a vazão de cálculo e a permeabilidade disponível do material utilizado, considerando a Lei de Darcy:

$$Q_{calc} = k_{necessário} \cdot i \cdot A \rightarrow k_{necessário} = \frac{Q_{calc}}{i \cdot A}$$

Onde:

$Q_{calc}$  vazão de cálculo, correspondente a vazão total absorvida pelo tapete horizontal.

$i$  gradiente hidráulico, considerado 10%.

$k_{necessário}$  condutividade hidráulica necessária para o material componente do tapete.

$A$  área do tapete horizontal por metro linear, equivalente a sua espessura.

O atendimento à condição de cálculo se dá quando a permeabilidade equivalente do dispositivo de drenagem (ver Tabela 6.4) é superior à permeabilidade necessária.

A Tabela 7.2 apresenta os valores de vazão de cálculo e demais elementos para a estimativa da permeabilidade necessária e os elementos drenantes indicados para atender a vazão prevista no tapete.

**Tabela 7.2 – Tapete drenante – fluxo transversal – verificação do atendimento dos sistemas propostos**

Seção	Vazão (m <sup>3</sup> /s/m) (1)	Gradiente	Espessura (m)	K requerida (m/s)	K disponível (m/s)
2A	7,68E-06	0,1	1,00	7,68E-05	2,06E-03
2B	3,51E-06	0,1	1,00	3,51E-05	2,06E-03
2C	3,68E-05	0,1	1,00	3,68E-04	2,06E-03
2D	2,36E-05	0,1	1,00	2,36E-04	2,06E-03

NOTA: (1) A vazão total no tapete drenante é a somatória dos valores majorados dos filtros vertical e horizontal.

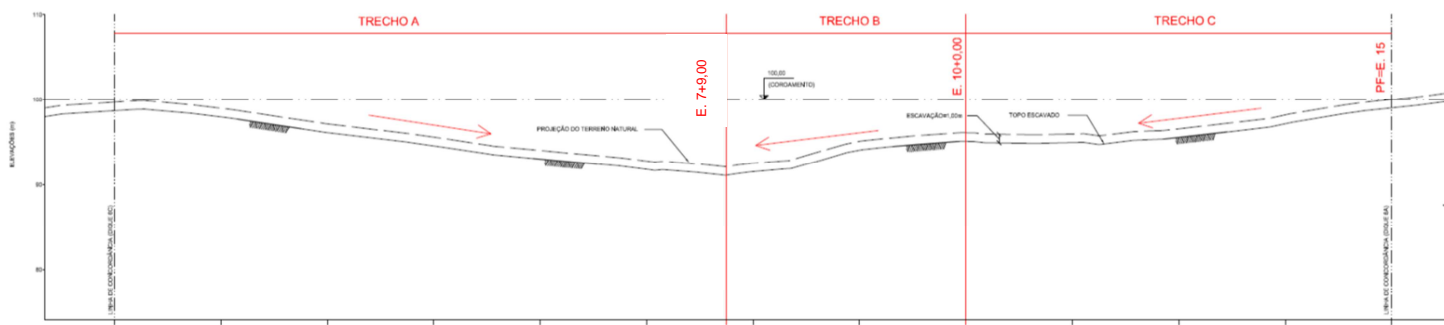
## UHE BELO MONTE

Como se verifica na Tabela 7.2 o tapete horizontal “sanduíche” proposto, com 3 camadas e espessura contínua de 1,0m/1,0m, apresenta capacidade de drenagem adequada para as vazões previstas.

### 7.3.2 Tapete Drenante – Dimensionamento Longitudinal

O dimensionamento do tapete drenante, considerando-se o fluxo longitudinal, considera a vazão acumulada no ponto de concentração, conforme reproduzido na Figura 7.1.

**Figura 7.1 – Dimensionamento longitudinal – planta**



Para o dimensionamento foram consideradas as seguintes premissas de cálculo:

- Majoração de 10 vezes o valor da vazão calculada absorvida pelo filtro.
- Tapete drenante com gradiente hidráulico determinado pelo declive do terreno. Para os trechos com gradiente geométrico menor que 10% considera-se que o fluxo se dá totalmente no sentido transversal.
- Considerado como elemento drenante o tapete horizontal sanduíche, cujas características são indicadas no item 6.3.1.

**Tabela 7.3 – Verificação do Fluxo Longitudinal**

Trecho	Estaca	EI. Ponto Alto	EI. Ponto Baixo	Gradient e (i)	L (m)	e (m)	Q total (m³/s)	Verificação
Trecho A (vazão da seção 2A)	0+0							ig = 0,054 < ih=0,10 Ok - Vale fluxo transversal
	7+9	99	91	0,054	11,00	1,00	1,14E-03	
Trecho B (vazão média das seções 2B e 2C)	7+9							ig = 0,058 < ih=0,10 Ok-Vale fluxo transversal
	10+0	95	91	0,058	15,00	1,00	4,05E-03	
Trecho C (vazão média das seções 2C e 2D)	10+0							ig = 0,04 < ih=0,10 Ok-Vale fluxo transversal
	15+0	99	95	0,040	12,00	1,00	3,02E-03	

**UHE BELO MONTE**

O dimensionamento do dreno de saída no ponto mais baixo é feito considerando que a vazão acumulada até este ponto é de  $5,37 \times 10^{-4}$ , majorada em 10 vezes, o que resulta em uma vazão de cálculo de  $5,37 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para o dimensionamento foram consideradas as seguintes premissas de cálculo:

- O valor majoração de 10 vezes da vazão calculada absorvida pelo dreno.
- Funcionando em carga, com gradiente hidráulico máximo igual a 10%.
- Permeabilidade disponível do dreno de saída  $2,20 \times 10^{-2} \text{ m/s}$

O dimensionamento é feito através da determinação da área de dreno necessária para capacitar o sistema a drenar a vazão de cálculo, com base na permeabilidade disponível do material utilizado, considerando a Lei de Darcy:

$$Q_{calc} = k_{disponível} \cdot i \cdot A_{necessária} \rightarrow A_{necessário} = \frac{Q_{calc}}{i \cdot K_{disponível}}$$

Onde:

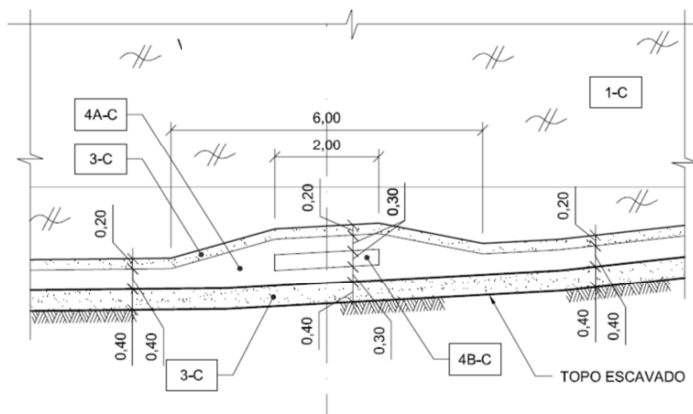
$Q_{calc}$  vazão de cálculo, correspondente a vazão absorvida pelo filtro majorada.

$i$  gradiente hidráulico de 10%.

$k_{disponível}$  condutividade hidráulica disponível do dreno.

Com isto, estima-se que a área necessária para drenar a vazão total é de  $2,5 \text{ m}^2$ . Desta forma, considerando a espessura do dreno de  $1,50 \text{ m}$ , a largura do dreno necessária será de  $1,63 \text{ m}$ , sendo adotado em projeto uma largura de  $2,0 \text{ m}$ .

**Figura 7.2 – Configuração adotada em projeto pra o dreno de saída no ponto mais baixo**





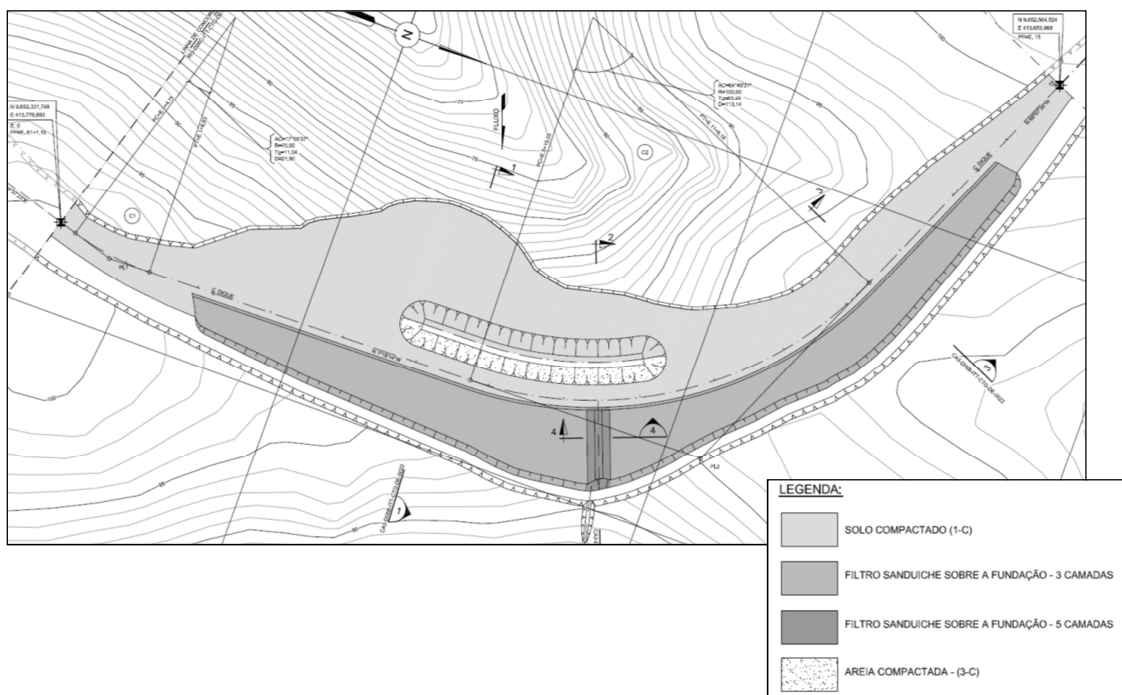
**UHE BELO MONTE**

**8. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM**

Com base nas análises apresentadas é possível estabelecer um sistema de drenagem que seja capaz de aliviar as pressões internas dos aterros e de suas fundações, assim como evitar o potencial arraste de partículas destes maciços pelo fluxo de água e conduzir a água captada pelo sistema de maneira controlada para drenagens naturais a jusante do aterro.

A Figura 8.1 apresenta uma planta com o arranjo esquemático dos elementos que compõem o sistema de drenagem.

**Figura 8.1 – Dique 6B - Disposição dos principais elementos de drenagem**



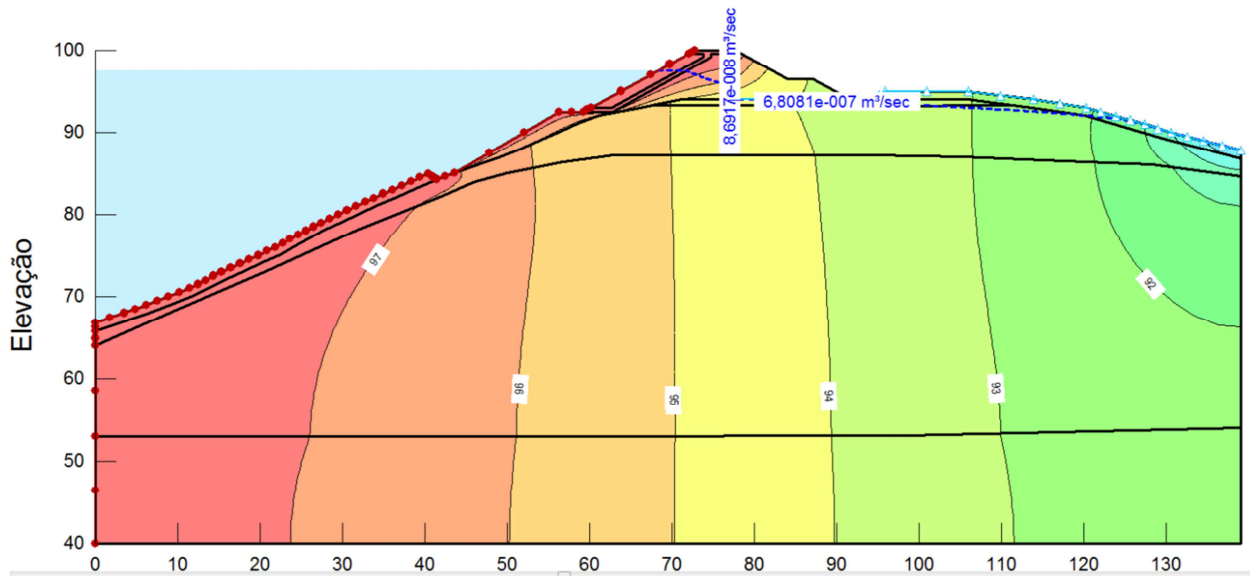
**ANEXO 1**

*DIQUE 6B*

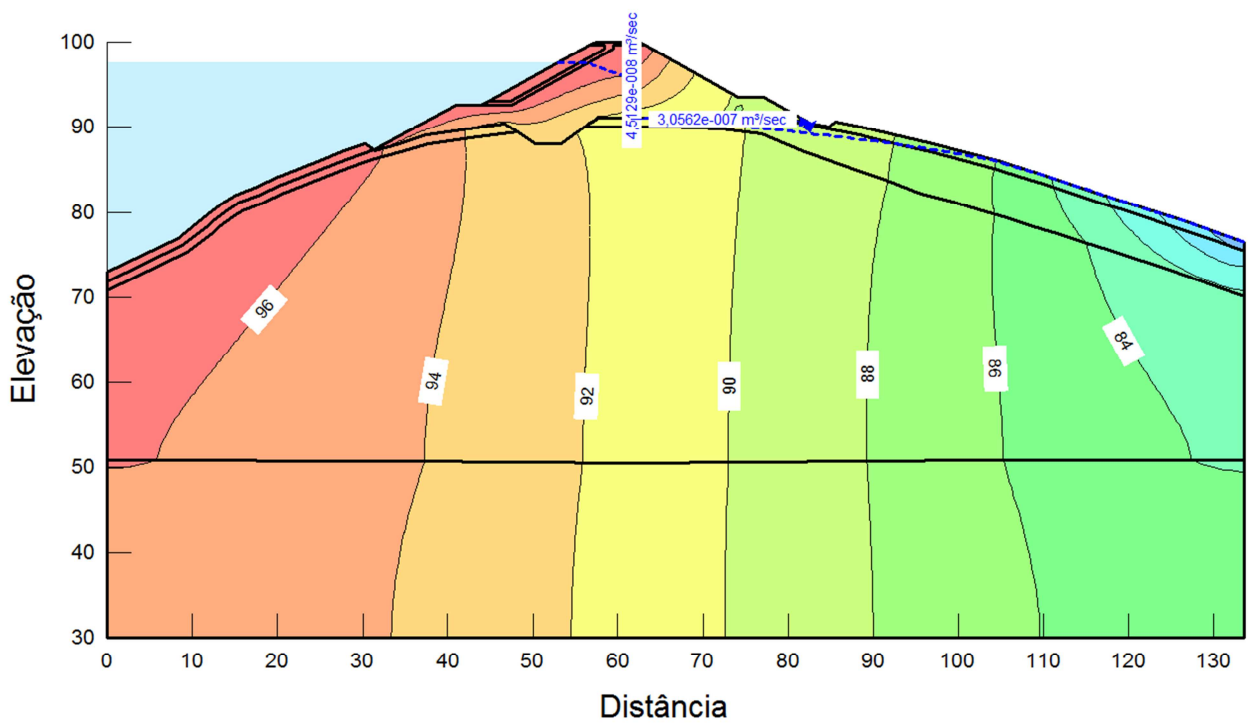
*Resultados das análises de percolação*

**UHE BELO MONTE**

**Seção 2A**

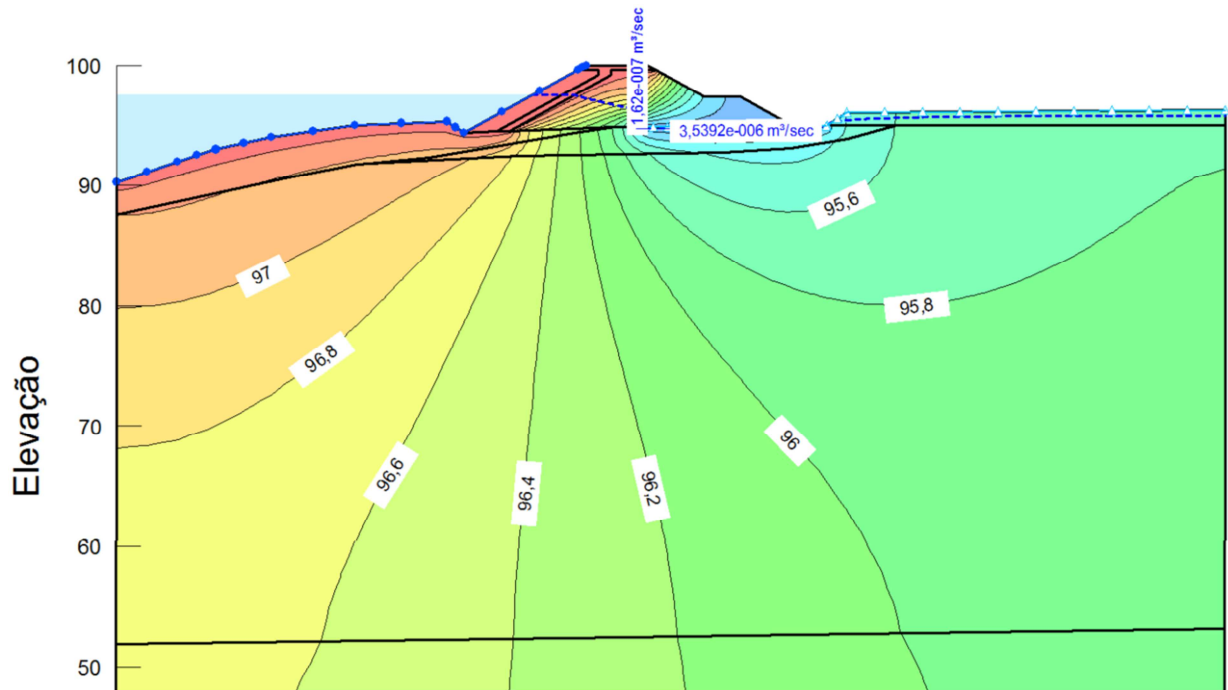


**Seção 2B**



**UHE BELO MONTE**

**Seção 2C**



**Seção 2D**

