



**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL**  
Secretaria de Infra-estrutura Hídrica

**Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias  
Hidrográficas do Nordeste Setentrional**

**Projeto Executivo do Lote C - Eixo Leste**

## **NOTA TÉCNICA**

### **BARRAGEM MANDANTES**

### **CONCEPÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA BARRAGEM**

**1230-NTC-2106-04-02-002-R02**  
**RECIFE-PE**

C O N S Ó R C I O

TECHNE • PROJETEC • BRLi

**Abril - 2010**



**PROJETEC**





## MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-estrutura Hídrica

**Projeto de Integração do Rio São Francisco com  
Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional**

**Projeto Executivo do Lote C – Eixo Leste**

# NOTA TÉCNICA

## BARRAGEM MANDANTES

### *CONCEPÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA BARRAGEM*

1230-NTC-2106-04-02-002-R02

RECIFE-PE

C O N S Ó R C I O

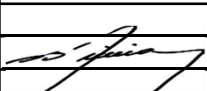

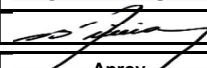
TECHNE • PROJETEC • BRLi

**Abril - 2010**



Título  <b>NOTA TÉCNICA - BARRAGEM MANDANTES - CONCEPÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA BARRAGEM</b>		Número  <b>1230-NTC-2106-04-02-002</b>	Folha 1/1																																
Esta folha índice indica em que revisão está cada folha na emissão citada																																			
FI/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7	FI/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7	FI/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7	FI/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7
1									36									71									106								
2									37									72									107								
3									38									73									108								
4									39									74									109								
5									40									75									110								
6									41									76									111								
7									42									77									112								
8									43									78									113								
9									44									79									114								
10									45									80									115								
11									46									81									116								
12									47									82									117								
13									48									83									118								
14									49									84									119								
15									50									85									120								
16									51									86									121								
17									52									87									122								
18									53									88									123								
19									54									89									124								
20									55									90									125								
21									56									91									126								
22									57									92									127								
23									58									93									128								
24									59									94									129								
25									60									95									130								
26									61									96									131								
27									62									97									132								
28									63									98									133								
29									64									99									134								
30									65									100									135								
31									66									101									136								
32									67									102									137								
33									68									103									138								
34									69									104									139								
35									70									105									140								

02	30/07/2013	José Cláudio Acciolly	H		Documento cancelado conforme CTE 6913
01	21/01/2011	José Cláudio Acciolly	C		Inserção do nº da ATA 0823
00	13/04/2010	José Cláudio Acciolly	C		Emissão Inicial

Rev.	Data	Por	Em.	Aprov.	Descrição das revisões
<b>TIPO DE EMISSÃO</b>					
(A) Preliminar			(E) Para Construção		(I) de Trabalho
(B) Para Aprovação			(F) Conforme Comprado		( )
(C) Para Conhecimento			(G) Conforme Construído		( )
(D) Para Cotação			(H) Cancelado		( )

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	ASPECTOS GEOLÓGICOS/GEOTÉCNICOS.....	1
3	CONCEPÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA BARRAGEM.....	2
4	SANGRADOURO .....	7

### Anexos:

- I. Nota Técnica (MECASOLO).



## 1 INTRODUÇÃO

A Barragem Mandantes possui cerca de 1.500,00 m de comprimento e altura máxima de 15,60 m e está situada entre as elevatórias EBV-2 e EBV-3, ficando o reservatório entre as estacas 32+370 e 34+473. O mapeamento geológico indicou a presença de rochas sedimentares em toda a área.

A seção da barragem será do tipo homogênea, totalizando 440.915,21m<sup>3</sup> de aterros.

Foi prevista, uma tomada d'água para usos difusos com capacidade para 2 m<sup>3</sup>/s, controlada por meio de uma válvula dispersora com diâmetro de 500 mm.

A barragem foi projetada para absorver o volume da cheia milenar no espaço entre o “nível de água permanente” e o nível da soleira do vertedor de segurança com 45,00 m de largura, previsto para escoar 28 m<sup>3</sup>/s, com uma lâmina de 0,50 m.

## 2 ASPECTOS GEOLÓGICOS/GEOTÉCNICOS

A região de construção do Eixo Leste – Trecho V se caracteriza pela presença de rochas do pré-cambriano e rochas sedimentares cretáceas da Bacia do Jatobá, além de sedimentos aluvionares do quaternário.

As rochas do cristalino são constituídas de biotita-gnaisses, muscovita-gnaisse, migmatitos biotitas-granitos e biotitas-gnaisse com intercalações. Os sedimentos são formados por arenitos, siltitos e folhelhos, muitas vezes recobertos com depósitos aluvionares.

A região da barragem de MANDANTES é formada, na ombreira esquerda e faixa central do vale por arenitos e na ombreira direita ocorre conglomerado de matriz areno-siltosa a argilo-arenosa. No contato entre essas duas litologias há evidências de existência de argilitos-siltitos.

A formação da ombreira direita é constituída por conglomerados polimíticos com intercalações com folhelhos e arenitos.

A parte central do vale e ombreira esquerda é formada por arenitos finos intercalados com folhelhos, argilitos e siltitos numa situação errática.

A parte superficial é formada por depósito de quaternário formado por aluviões não consolidados, constituídos de areia fina a grossa, cascalhos e localmente com presença de camadas argilosas.

Na fase do Projeto Executivo mereceu investigação detalhada a conformação dos horizontes de argilito/siltito, visto que eles certamente condicionarão o padrão de percolação e deformação de fundação, além de poderem condicionar a estabilidade global do barramento.

Também merece revisão a eliminação das injeções exploratórias nos argilitos, que, em princípio, não são injetáveis.

### 3 CONCEPÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA BARRAGEM

A seção transversal desenvolvida no Projeto Básico colocava materiais argilosos, aluvionares ou não, próximo às superfícies externas dos taludes com pouca espessura, o que levava a riscos por conta da baixa resistência ao cisalhamento desses materiais, bem como pelo risco desses materiais conterem argilas dispersivas e expansivas, bastante comuns na região.

Foi então proposto um novo arranjo já na Proposta do CONSORCIO TECHNE PROJETEC-BRLi, apresentada na **CONCORRÊNCIA PÚBLICA Nº 01/07**, para ser desenvolvido no Projeto Executivo. Este novo arranjo posicionava os materiais argilosos em um núcleo central confinado por materiais de alta resistência ao cisalhamento, com um bom sistema de drenagem interna, formado por filtros verticais e tapetes drenantes horizontais que terminavam em simples drenos de pé, formados por enrocamento compactado.

Conforme visto no item anterior, a barragem será fundada sobre uma fundação de formação sedimentar com alternâncias de camadas sub-horizontais de conglomerado/arenito/argilito/siltito de baixo teor de umidade natural e com o N.A bastante profundo.

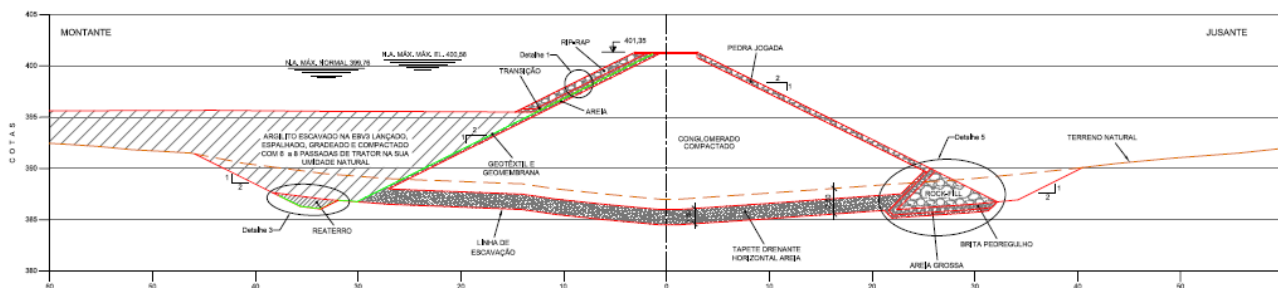
Face às alternâncias de materiais expansivos e de solo colapsível de alteração de arenito, espera-se um quadro de deformações preocupante, difícil de ser quantificado de forma adequada, principalmente por causa das distâncias importantes entre sondagens, podendo, entretanto, se afirmar que deverão ocorrer grandes recalques diferenciais debaixo da barragem e das estruturas auxiliares.

Considerando as dificuldades de ordem geológicas/geotécnicas confirmadas após estudos complementares na fundação, na fase do Projeto Executivo, o Consórcio TECHNE-PROJETEC-BRLi contratou a empresa MECASOLO Engenharia e Consultoria Ltda, de reconhecida capacidade na área de geotecnia, com o objetivo de apresentar uma análise das condições da fundação da barragem Mandantes e definir e apresentar a concepção do maciço da barragem e das estruturas anexas, como a “tomada d’água e o sangradouro para o detalhamento do seu projeto executivo.

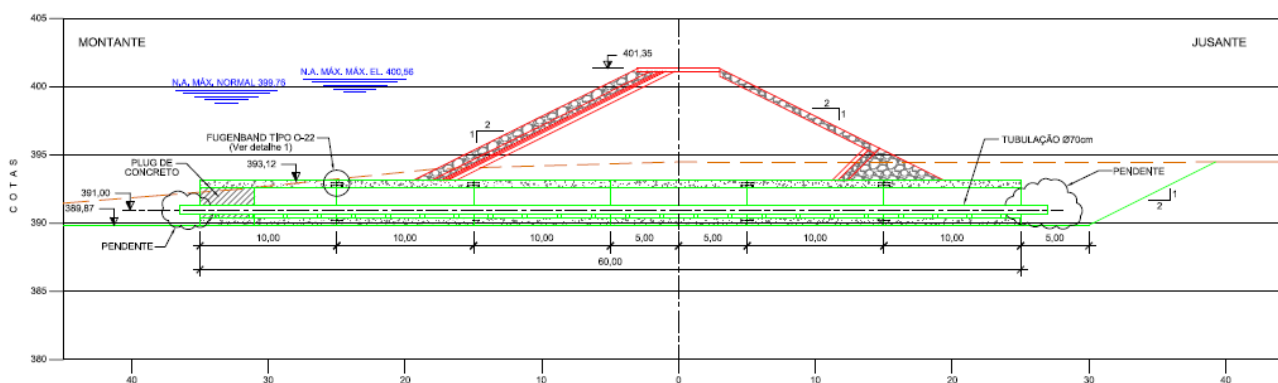
O estudo da MECASOLO foi apresentado no Relatório **“BARRAGEM MANDANTES – Análise das Condições de Fundação e Concepção da Barragem”**, datado de 29 de dezembro de 2009, onde foi realizado um estudo acurado de todas as investigações geológicas/geotécnicas disponíveis, desde as do Projeto Básico até as investigações complementares realizadas na fase do Projeto Executivo.

Com base nesses estudos a Empresa contratada concebeu um arranjo para a seção transversal da barragem e Tomada D’água como apresentadas nas figuras abaixo, justificadas com os textos originais mostrados a seguir:

## SEÇÃO TRANSVERSAL DA BARRAGEM



## SEÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA



Barragem:

*“Conforme visto anteriormente, a barragem estará assentada sobre uma fundação com alternâncias de camadas sub-horizontais de conglomerado/arenito/argilito de baixo teor de umidade natural e com o N.A bastante profundo. Face às alternâncias de argilito/materiais argilosos expansivos e de solos colapsíveis de alteração de arenito, espera-se um quadro de recalques algo caótico e não sujeito a ser quantificado a priori de forma adequada, apesar das sondagens realizadas, podendo, entretanto, se afirmar que deverão ocorrer grandes recalques diferenciais debaixo da barragem e das estruturas.*

*Por causa destes recalques diferenciais, considera-se que a concepção da barragem consistindo de espaldares de conglomerado compactado e de um núcleo central de material argiloso compactado que consta da proposta do CONSORCIO não é a mais adequada às condições de fundação locais face ao risco de vir a ocorrer fissuramentos do núcleo como consequência praticamente inevitável da ocorrência dos recalques diferenciais esperados. Estes fissuramentos podem ocorrer tanto por abertura de fraturas em zonas de tração quanto por fraturamento hidráulico em zonas de arqueamento que gerem tensões localmente baixas, permitindo então a passagem franca da água através do núcleo com os riscos associados de “piping” no talude de jusante.*

*Considera-se como seção tipo mais adequado uma seção homogênea constituída pelo material local que é ao mesmo tempo, o de melhor trabalhabilidade, o de maior resistência ao cisalhamento, o de menor compressibilidade, e o de menor custo no local, a saber: o conglomerado, munida de uma impermeabilização na face de montante constituída por uma geomembrana de PEAD que tem uma*

*grande capacidade de acompanhar as acomodações do maciço provocadas pelos recalques diferenciais sem se romper por ter uma grande capacidade de deformação à tração antes de atingir a ruptura.*

*Conforme informação verbal recebida durante a reunião realizada no escritório da Projetista em 23 de novembro de 2009, existe em torno de 500 000m³ de argilito a ser escavado no local da EBV-3, a pouca distância da barragem Mandantes. Este material que não tem seu aproveitamento previsto para nenhuma finalidade específica será melhor aproveitado se depositado a montante do maciço de Mandantes, constituindo assim um tapete impermeabilizante de baixíssimo custo, do que se fosse enviado para alguma zona de bota fora.*

*Ao depositar este volume de argilito com uma espessura média de 1,70m ao longo dos 1480m do talude de montante da barragem que se encontram abaixo do N.A máximo normal, o volume disponível permitiria executar um tapete da ordem de 200m de comprimento, Desta forma, o gradiente médio pela fundação diminuiria do valor igual a 0,28 calculado anteriormente sem tapete impermeabilizante para  $9,76 : (200 + \pi \times 8) = 0,043$  o que levaria a uma vazão de percolação pela fundação em torno de  $57,6\text{m}^3/\text{dia} \times (0,043 : 0,28)$  ou seja  $8,8\text{m}^3/\text{dia}$ ."*

#### Tomada d'Água:

*"Conforme visto anteriormente, a descarga de fundo se encontra num local no qual não foi detectada nenhuma ocorrência de argilito, com a fundação constituída por uma camada superficial de colúvio de 1,0 a 1,5m de profundidade sobrejacente à uma camada de areia fina a média siltosa cujo contato com o arenito incoerente a pouco coerente subjacente se encontra em torno das cotas: - 385,9m 40m a montante do eixo, 387,0m no eixo e 388,0m 40m a jusante do eixo, sendo que a tubulação da descarga de fundo está projetada para ter seu eixo na cota 391,00m.*

*Por conta da colapsibilidade do solo de alteração de arenito ali presente, ocorrerão colapsos debaixo da estrutura da descarga de fundo, com maior intensidade a montante onde a camada é mais espessa e menor intensidade a jusante onde a camada é menos espessa.*

*Por esta razão, é altamente desaconselhável a instalação da tabulação embutida dentro do maciço, mesmo com um envelopamento de concreto por causa do risco de ruptura da tubulação provocada pelos recalques, sabendo que uma tal ruptura levaria rapidamente à ruína da barragem por erosão interna.*

*A solução adequada consiste na execução de uma galeria de concreto armado em módulos curtos atravessando o maciço de montante a jusante na qual a tubulação será instalada apoiada em berços de concreto como mostrado no desenho "Seções longitudinal e transversal da galeria de descarga de fundo".*

*As condições de fundação desaconselham a execução de uma torre de comando na extremidade de montante da galeria visando o comando por montante da descarga de fundo uma vez que a torre apoiada numa fundação rasa correria o risco de sofrer desaprumo significativo e que com a torre apoiada*

*numa fundação estaqueada correr-se-ia o risco de um cisalhamento da estrutura e da tabulação no contato entre a torre e o primeiro módulo da galeria.*

*Será portanto necessário que o controle da descarga seja feito por jusante. Prevê-se, portanto, que a galeria será executada, de montante até jusante, antes da execução do maciço. A tubulação será em seguida instalada estendendo-se um pouco para montante da face de montante do primeiro módulo da galeria e será executado um “plug” de concreto no primeiro módulo da galeria como mostrado no desenho “Seções longitudinal e transversal da galeria de descarga de fundo”.*

*A montante do plug será instalada a grade e na extremidade de jusante da tubulação serão instaladas as válvulas necessárias ao controle da descarga alojadas numa estrutura de comando leve apoiada em fundação rasa.”*

## Sangradouro

*“O sangradouro e o canal de descarga serão fundados sobre areia fina a média siltosa colapsível, sendo que debaixo da estrutura do sangradouro e debaixo do canal de descarga, encontra-se um horizonte argiloso poucos metros abaixo da cota de fundação, sendo menos profundo do lado hidráulico esquerdo que do lado direito.*

*Face às alternâncias de argilito/materiais argilosos expansivos e de solo de alteração de arenito colapsível, espera-se um quadro de recalques algo caótico e não sujeito a ser quantificado a priori de forma adequada, podendo, entretanto, se afirmar que deverão ocorrer grandes recalques diferenciais debaixo do sangradouro. Por esta razão é altamente desaconselhável a execução de uma estrutura rígida para o sangradouro, face aos riscos de:*

- *fissuramento da estrutura por causa dos grandes recalques diferenciais e*
- *fraturamento hidráulico no contato da base da estrutura com o solo de fundação nas zonas de maiores recalques por causa do grande alívio da tensão vertical de contato naquelas zonas.*

*Da mesma forma, é desaconselhável a execução de uma estrutura ou de um revestimento rígido para o canal de descarga.*

*Uma vez que a vazão efluente específica é bastante baixa ( $28\text{m}^3/\text{s}$ :  $45\text{m} = 0,62\text{m}^3/\text{s}$  por metro), e que a declividade do canal de descarga é pequena, resultando em velocidade de escoamento razoavelmente baixa, o canal de descarga poderá ser protegido por enrocamento arrumado sobre um geotêxtil, com gramatura em torno de  $600\text{g}/\text{m}^2$ .*

*A estrutura vertente, de baixa altura, também deve ser flexível, podendo ser do tipo “Terra armada” ou tipo “Gabiões” com um elemento impermeabilizante na soleira resistente ao vandalismo.*

*Recomenda-se que se usem elementos curtos (1,5 a 2,0m) de concreto justapostos com juntas fugenband para acomodar os deslocamentos diferenciais entre blocos vizinhos”*



Esta concepção foi apresentada e analisada durante a reunião de nivelamento entre os representantes da Gerenciadora Logos-concremat e do Consorcio Projetista, realizada no **Escritório da Gerenciadora - Petrolândia- PE, em 27-01-2010.**

O Consultor da Gerenciadora questionou a necessidade de se ter um filtro horizontal por toda a seção transversal do projeto e a inexistência de filtro vertical na Barragem e explanou que este terá grande importância relativas à segurança/funcionalidade da barragem caso ocorram deformações de expansão.

Os Consultores da projetista informaram que mesmo que exista este tapete horizontal, as camadas de argilito não estarão livres da expansão quando forem saturadas e concordaram com a retirada da porção de montante do filtro horizontal e a introdução do filtro vertical.

Foi sugerido ainda um maior detalhamento das zonas de transição entre o aterro e os enrocamentos de montante, de jusante e do dreno de pé.

Foi introduzida também uma trincheira drenante situada a jusante do pé da barragem fundada sobre o maciço de arenito. Esta trincheira é dispensável no trecho em conglomerado.

Foi também consensual a introdução de uma trincheira exploratória à montante do filtro vertical com cerca de 4,00m de profundidade e 5,00m de largura de base.

O arranjo final da seção transversal da barragem de MANDANTES é constituído de uma barragem do tipo homogênea a ser construída com o conglomerado disponível no local com a introdução de um sistema de drenagem interno composto de filtro vertical, tapete drenante horizontal e dreno de pé e com proteção de enrocamentos a montante (rip-rap) e a jusante.

Um aspecto importante, observado no Projeto, foi à aplicabilidade dos materiais de 2ª categoria como material de empréstimo.

Desta forma, no transcorrer do Projeto Executivo, o Consórcio procurou ao máximo confirmar a utilização de materiais desse tipo, como fonte de material de construção, ou mesmo a utilização de materiais similares em detrimento à sua deposição em bota-fora.

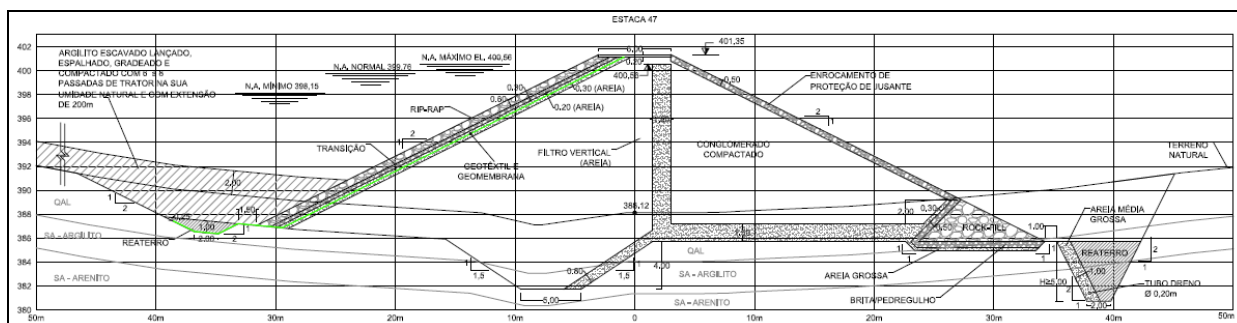
Este aterro munido com uma impermeabilização na face de montante constituída por uma geomembrana de PEAD que tem uma grande capacidade de acompanhar as acomodações do maciço provocadas pelos recalques diferenciais sem se romper e por ter uma grande capacidade de deformação à tração antes de atingir a ruptura.

Com o arranjo da seção transversal da barragem definido, incluindo a geomembrana impermeabilizante, houve a necessidade devido à presença de uma camada de transição em pedras e enrocamento sobre a geomembrana, de um elemento que protegesse contra possíveis perfurações/puncionamento, estouro e rasgo.

O atrito e conseqüente abrasão à que poderá submeter-se a geomembrana podem alterar suas propriedades físicas e mecânicas como a própria diminuição da espessura, uma vez conhecida a interferência desta na resistência da mesma.

Para a sua proteção mecânica foi indicado um geossintético não tecido e agulhado que exercerá a função protetora contra estas intempéries.

Com base nessas considerações a Projetista definiu o arranjo final para a seção transversal da barragem que é mostrado na figura a seguir:



## 4 SANGRADOURO

O sangradouro será constituído de um canal aberto, situado na ombreira direita no eixo escolhido, que cruza o eixo da barragem entre as estacas 77 e 79+5,00m, onde se localiza a seção de controle.

Esta é formada por uma estrutura flexível, em gabiões, que descarrega em uma bacia de dissipação em elevação com uma contra barragem no terminal.

O acesso ao vertedor é feito através de um canal, iniciando com fundo na cota 399,76 e uma declividade de 0,5%, com fluxo em movimento uniforme.

À saída da bacia de dissipação é feita através de um canal de restituição com iniciando com fundo na cota 398,50 e declividade de 1,5%, também em movimento uniforme no regime subcrítico.

O arranjo definido para o sangradouro foi baseado nas novas sondagens realizadas (SM-1MAN, SM-2MAN, SM-2 MAN, SM-4 MAN, SM-5 MAN, SME-6 MAN, SME-7 MAN e SME-8 MAN), nos estudos geotécnicos realizados e analisados no Relatório “ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO E CONCEPÇÃO DA BARRAGEM” apresentado em Nota Técnica.

O desenvolvimento do projeto seguiu as recomendações hidrológicas contidas nos “CRITÉRIOS GERAIS DE PROJETO” definidos no Projeto Básico e apresentados a seguir:

- N.A. MÁXIMO NORMAL PERMANENTE no canal na entrada do reservatório, cota 399,76;
- CRISTA DO VERTEDOR, a cota anterior mais 0,50m, cota 400,26;
- N.A. durante a operação do vertedor com a vazão máxima, cota da crista mais a lâmina vertente de 0,50m, cota 400,76;
- Coroamento da barragem, cota 401,35.

O dimensionamento do vertedor foi feito para a vazão de bombeamento, isto é, 28 m<sup>3</sup>/s, pois a vazão da bacia de contribuição local (cerca de 23,6 km<sup>2</sup>) é muito pequena e será totalmente absorvida no espaço entre as cotas do N.A. permanente, 399,76 e a crista do vertedor, cota 400,26.

O volume da cheia milenar é de  $342 \times 10^3 \text{ m}^3$  para um pico de  $60,40 \text{ m}^3/\text{s}$ , este volume acarretará uma elevação no N.A. do reservatório de aproximadamente 0,45 cm, atingindo a cota 400,21, denominada no projeto básico de nível máximo maximorum.



## ***Anexo I – Nota Técnica (MECASOLO)***

---

**PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO COM  
BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL**

**NOTA TÉCNICA**

**BARRAGEM MANDANTES**

**Projeto Executivo Lote C**

**Análise das Condições de Fundação e Concepção  
da Barragem**

**REL. MEC-MAN-001**

**29 de Dezembro de 2009**

---

C:\50-TRANSPOSIÇÃO\00-Notas Técnicas\14-NTC-MANDANTES\BARRAGEM\CONCEPÇÃO DA SEÇÃO  
TRANSVERSAL\ANEXO\ANEXO-FORMATADO.doc



Rua Wenceslau Bráz 175 – Cônego 28.621-670 - Nova Friburgo - RJ Tel. (22) 2522-0766 Fax (22) 2523-1363

Responsável Técnico Jean Pierre Paul Rémy Eng.º Civil CREA-RJ-88102777 5/D

# SUMÁRIO

1	OBJETIVO .....	1
2	CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE A BARRAGEM MANDANTES .....	1
3	DADOS LEVANTADOS .....	5
3.1	DADOS .....	5
4	CONHECIMENTO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM .....	21
4.1	SEÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA LONGITUDINAL PELO EIXO DA BARRAGEM .....	21
4.2	SEÇÃO GEOLÓGICO GEOTÉCNICA PELO EIXO DA DESCARGA DE FUNDO .....	34
4.3	CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO DO SANGRADOURO E DO CANAL DE DESCARGA .....	36
4.4	ENSAIOS “IN-SITU” .....	37
4.5	ENSAIOS DE LABORATÓRIO .....	38
4.5.1	Considerações Iniciais .....	38
4.5.2	Ensaio de Adensamento em Solos Colapsíveis .....	39
4.5.3	Ensaio de Adensamento em Solos Expansivos .....	43
4.5.4	Comentários Sobre os Resultados dos Ensaio de Adensamento em Solos Expansivos .....	54
4.5.5	Conclusões Tiradas dos Ensaio de Adensamento em Solos Colapsíveis e em Solos Expansivos .....	59
5	CONCEPÇÃO DO MACIÇO DA BARRAGEM .....	60
6	CONCEPÇÃO DA DESCARGA DE FUNDO .....	62
7	CONCEPÇÃO DO SANGRADOURO E DO CANAL DE DESCARGA .....	63
8	MONITORAMENTO DO MACIÇO E DAS ESTRUTURAS .....	64

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA:	
1230- REL-2106-04-02-001	RELATÓRIO DOS SERVIÇOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS DA BARRAGEM MANDANTES
1230-DEP-2106-04-24-001	PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL – TRECHO V. EIXO LESTE – LOTE C – PROJETO EXECUTIVO - PLANTA DE ESCAVAÇÃO BARRAGEM, TOMADA D'ÁGUA E SANGRADOURO
1230-DEP-2106-20-04-001	PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL – TRECHO V. EIXO LESTE – LOTE C – PROJETO EXECUTIVO - BARRAGEM DE MANDANTES: CURVA COTA ÁREA X COTA VOLUME
1230-DEP-2106-04-46-002	PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL – TRECHO V. EIXO LESTE – LOTE C – PROJETO EXECUTIVO - SEÇÃO TIPO DA BARRAGEM E DETALHE DA CRISTA E DO DRENO DE PÉ
1230-DEP-2106-04-02-001 (Folha 01/02)	PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL – TRECHO V. EIXO LESTE – LOTE C – PROJETO EXECUTIVO - PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS E SEÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA LONGITUDINAL
1230-DEP-2106-04-02-002 (Folha 02/02)	PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL – TRECHO V. EIXO LESTE – LOTE C – PROJETO EXECUTIVO - BARRAGEM DE MANDANTES - PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS, ÁREAS E VOLUMES

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA:	
1230-DEP-2106-04-02-001 (Folha 02/02)	PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL – TRECHO V. EIXO LESTE – LOTE C – PROJETO EXECUTIVO - BARRAGEM DE MANDANTES SEÇÃO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICA TRANSVERSAL 58

## Anexo:

### I. Desenhos.

## 1 OBJETIVO

O objetivo da presente Nota Técnica é analisar as condições da fundação da barragem Mandantes e definir e apresentar a concepção do maciço da barragem e das estruturas anexas, a saber: a descarga de fundo e o sangradouro para o detalhamento do seu projeto executivo pelo Consórcio TECHNE-PROJETEC-BRLi.

O trabalho apresentado neste relatório foi elaborado face ao fato da barragem Mandantes estar apoiada numa fundação na qual foi encontrado um horizonte de argilito considerado potencialmente expansível e na qual existem, também, horizontes potencialmente colapsíveis.

## 2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE A BARRAGEM MANDANTES

A figura 1, a seguir, mostra o arranjo geral do projeto no qual se pode observar que o Reservatório Mandantes se encontra no trecho entre EBV-2 e EBV-3, próximo da EBV-3.

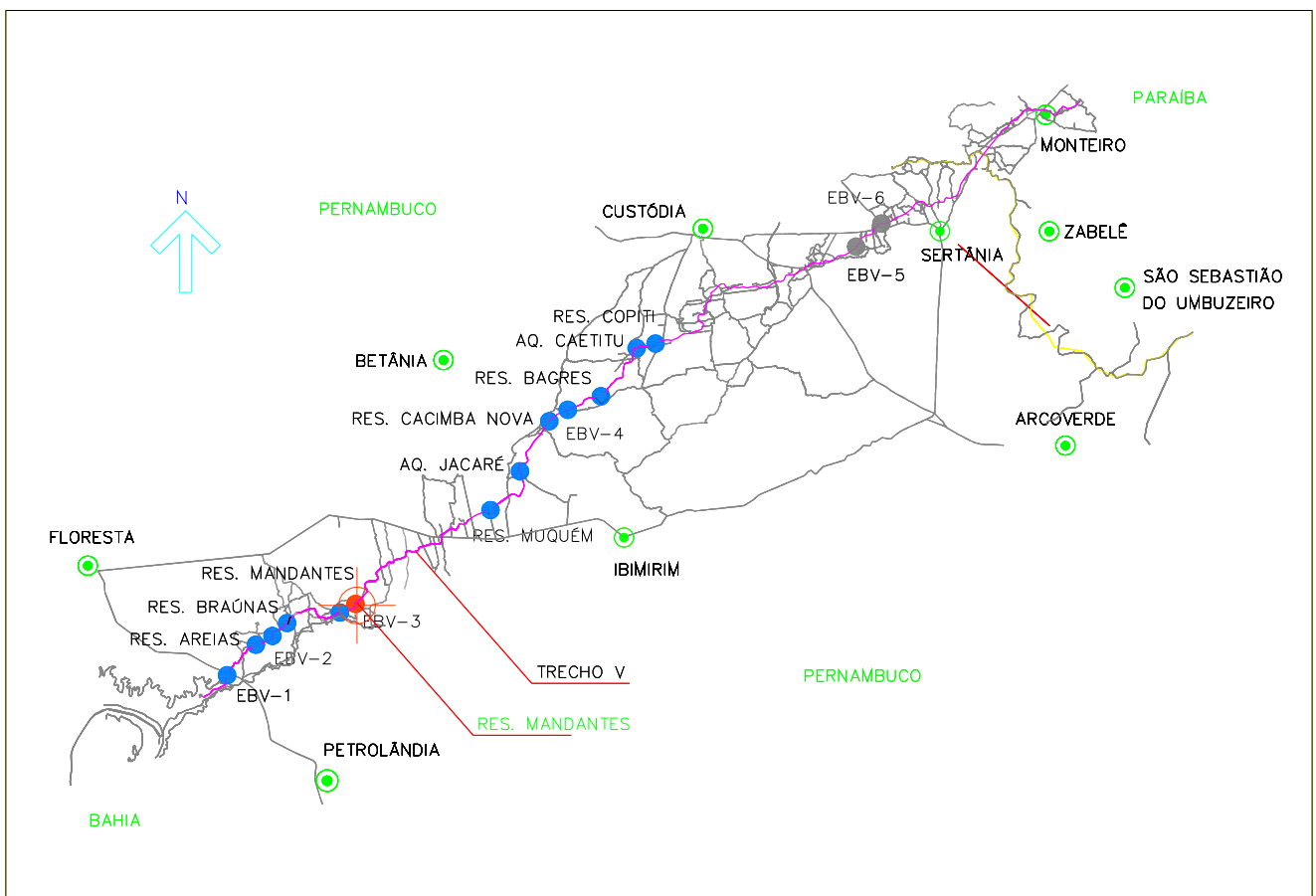


Figura 1

A barragem foi concebida, no projeto básico, como sendo uma barragem zonada com os espaldares de montante e de jusante constituídos por material granular (conglomerado) e um núcleo central de material pouco permeável protegido por um filtro vertical de areia a jusante como mostrado na seção tipo da figura 2. A crista está na cota 401,35m, a altura máxima é da ordem de 15 metros acima do terreno natural (alcançando eventualmente 18 a 20 metros acima da fundação como mostrado na seção da figura 2, dependendo da

profundidade da escavação no leito do rio) e o comprimento é da ordem de 1 580m (aproximadamente E.2+10 a E.81+10). A barragem é munida de um sangradouro de 45m de largura localizado na ombreira esquerda (E.77+0 a E.79+5) e de uma descarga de fundo cujo eixo está localizado na estaca 58+0 na margem esquerda como ilustrado na figura 3. A vazão de projeto do sangradouro é de  $28\text{m}^3/\text{s}$  e sua soleira se encontra na cota 399,76m. A descarga de fundo consiste numa tubulação de 0,70m de diâmetro instalada em torno da cota 391,00m.

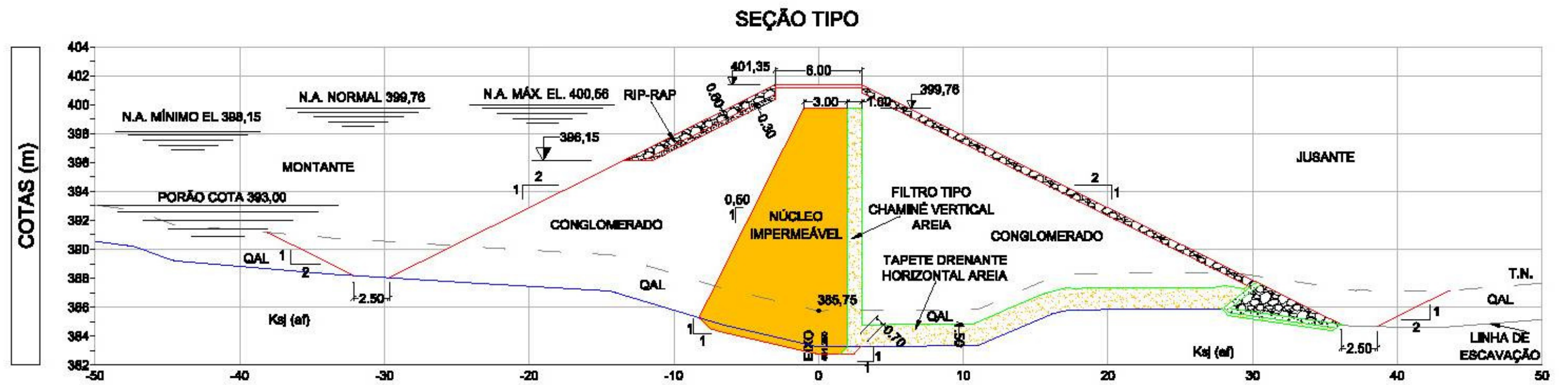


Figura 2



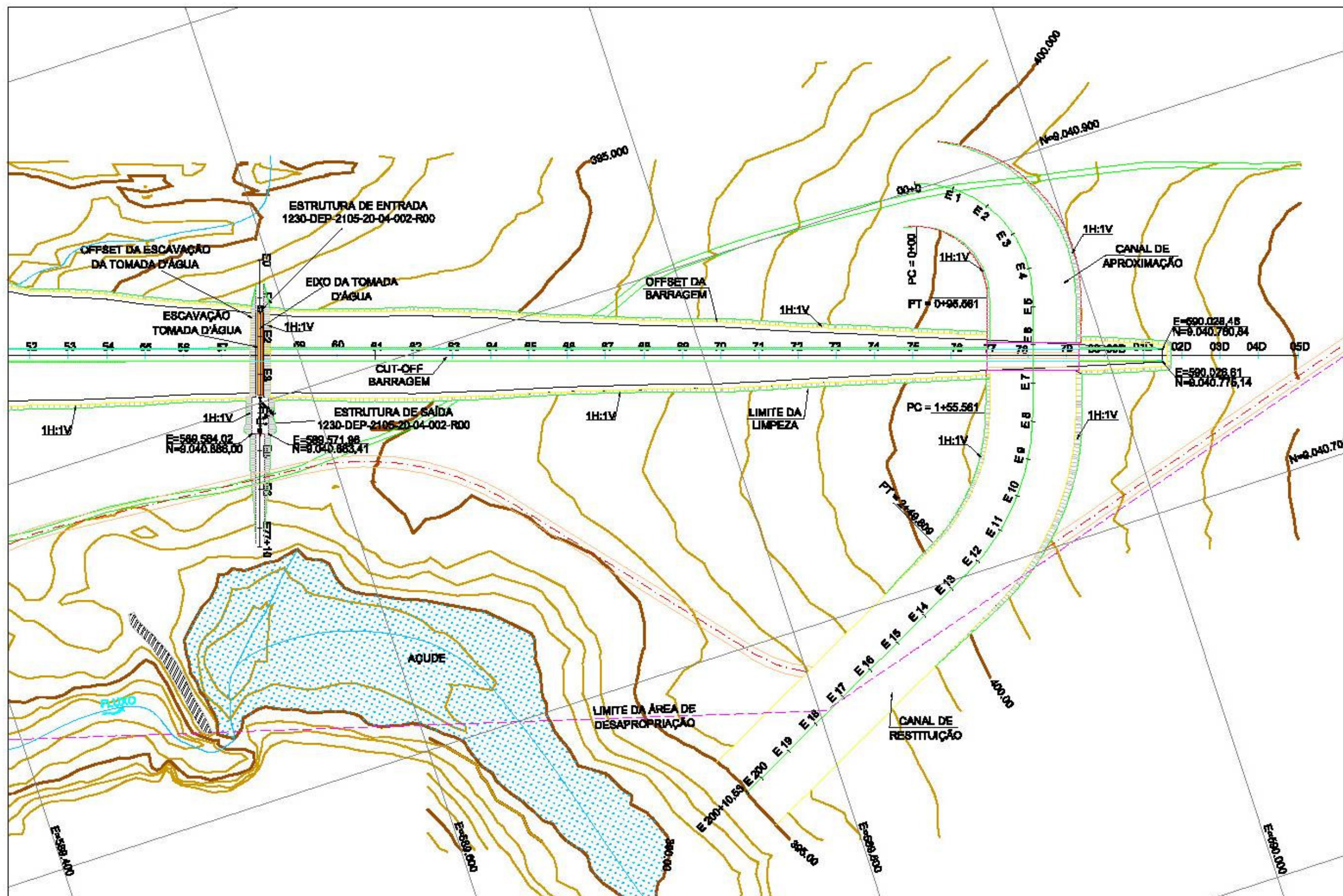


Figura 3



No que diz respeito às condições de fundação da barragem, o Relatório EN.B/V.RF.GL.0001 Revisão 0/C *“Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Leste R9 – Geologia e Geotecnia”*, no seu item *“Conclusões e Recomendações”*, indica o seguinte:

*“A Barragem Mandantes possui 1450 m de comprimento e altura máxima da ordem de 30m e está situada entre as elevatórias EBV-2 e EBV-3, ficando o reservatório entre as estacas 32+370 e 34+473. O mapeamento geológico indicou a presença de rochas sedimentares em toda a área do aproveitamento”.*

### **3 DADOS LEVANTADOS**

#### **3.1 DADOS**

Os dados levantados pelo consórcio TECHNE-PROJETEC-BRLi estão listados a seguir:

##### **a) Dados do Projeto Básico**

a.1) Relatório EN.B/V.RF.GL.0001 Revisão 0/C *“Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Leste R9 – Geologia e Geotecnia”* no qual se destacam os seguintes trechos de interesse para o presente projeto conceitual:

- I. Objeto e objetivo;
- II. Estudos anteriores;
- III. Serviços realizados
  - III.I Generalidades.
  - III.II Coleta e análise de dados existentes.
  - III.III Interpretação de imagens de satélite e radar e de fotografias aéreas.
  - III.IV Mapeamento geológico.
  - III.V Investigações de subsuperfície.
  - III.VI Ensaaios de laboratório.
- IV. Interpretação dos dados obtidos
  - IV.I Classificação geral dos solos e rochas.
  - IV.II Classificação dos solos.
  - IV.III Classificação das rochas.
  - IV.IV Classificação dos maciços rochosos.

- V. Aspectos geológicos gerais
  - V.I Embasamento cristalino.
  - V.II Bacia do Jatobá (Ksj).
  - V.III Coberturas cenozóicas.
    - V.III.I Depósitos coluvionares (TQc).
    - V.III.II Depósitos aluvionares (Qal).
    - V.III.III Depósitos aluvionares (Qal).
  - V.IV Aspectos estruturais.
- VI. Características geológico-geotécnicas das obras
  - VI.I Generalidades.
  - VI.II Canais
    - VI.II.I EBV-2 à EBV-3.
  - VI.III Estações elevatórias
    - VI.III.I EBV-3.
  - VI.IV Barragens
    - VI.IV.I Barragem Mandantes.
- VII. Materiais naturais de construção
  - VII.I Generalidades.
  - VII.II Áreas de empréstimo.
  - VII.III Depósitos de areia e cascalho.
  - VII.IV Materiais pétreos.
- VIII. Conclusões e recomendações
- IX. Análise dos ensaios geotécnicos de laboratório
  - IX.I Ensaio realizados
  - IX.II Áreas de empréstimo de solo e fundação das barragens
    - IX.II.I Barragem Mandantes.
    - IX.II.II Área de empréstimo de solo.

IX.III Jazidas de areia.

IX.IV Ensaios de expansão.

IX.V Conclusões

IX.V.I Solos das áreas de empréstimo.

IX.V.II Solos da fundação.

IX.V.III Areias.

IX.V.IV Expansibilidade.

IX.VI Tabelas:

- **Tabela I** - (folha relativa à) Barragem Mandantes Amostras de solo das áreas de empréstimo e fundação;
- **Tabela II** – Amostras de areias;
- **Tabelas III** – Ensaios de expansão (no local da EBV-3)”.

a.2) Furos de sondagens do Projeto Básico com:

- Quadro com a localização, as coordenadas, a cota, a profundidade e a descrição das sondagens rotativas SR01 a SR45;
- Os perfis individuais das sondagens rotativas:
  - SR-29,
  - SR-30,
  - SR-31,
  - SR-32,
- As fotos das caixas de testemunhos de:
  - SR-29;
  - SR-30;
  - SR-31;
  - SR-32;
  - SR-33 e
  - SR-34.

- Quadro com a localização, as coordenadas, a cota e a descrição das sondagens a percussão SP-59 a SP-65 e SP-71 a SP-87;
  - Os perfis individuais das sondagens a percussão:
    - SP-59;
    - SP-60;
    - SP-61;
    - SP-62;
    - SP-63;
    - SP-64 e
    - SP-65.
  - Um quadro com relação de amostras programadas/programação de ensaios;
  - Uma tabela resumo de resultados dos ensaios de laboratório e
  - Folhas de resultados de ensaios de umidade, limites de Atterberg, granulometria, compactação Proctor e ensaios triaxiais  $\overline{cu}$ .
- a.3) Projeto da Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico - Sugestões para a Investigação de Campo, Projeto e Especificações Construtivas de Túnel por Dr. Nick Barton (páginas 1 a 14).
- a.4) Desenho EN.B/V.DS.GL.0018-R0/C - Projeto de Transposição de Água do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Norte – Barragem Mandantes – Mapa geológico e seção geológico – geotécnica “A”.
- a.5) Desenho EN.B/V.DS.GT.0018-R1/C - Projeto de Transposição de Água do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Norte – Barragem Mandantes – Ensaios geotécnicos.
- a.6) Desenho EN.B/V.DS.GT.0067-R0/C - Projeto de Transposição de Água do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Norte – Barragem Mandantes – Reservatório – Planta.
- a.7) Desenho EN.B/V. DS.GT.0028 - Projeto de Transposição de Água do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto básico – Trecho V – Eixo leste – Barragem Mandantes – Implantação – Planta e perfil longitudinal.
- a.8) Desenho EN.B/V.DS.GT.0065-R0/C - Projeto de Transposição de Água do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Norte – Barragem Mandantes – Escavação – Planta e perfil longitudinal.
- a.9) Desenho EN.B/V.DS.GT.0068-R0/C - Projeto de Transposição de Água do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Norte –

Barragem Mandantes – Filtro horizontal – Planta e seção.

a.10) Desenho EN.B/V.DS.GT.0069-R0/C - Projeto de Transposição de Água do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Norte – Barragem Mandantes – Instrumentação.

a.11) Desenho EN.B/V.DS.GT.0058-R0/C - Projeto de Transposição de Água do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Norte – Barragem Mandantes – Áreas de empréstimos – Jazidas e pedreiras.

b) Dados de Projeto Executivo:

b.1) Projeto de Transposição de Água do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Executivo do Lote C – Eixo Leste - “Relatório dos Serviços Geotécnicos-Geológicos da Barragem Mandantes, Nº 1230-REL-2106-04-02-001, elaborado pelo Consórcio TECHNE – PROJETEC - BRLi:

I. Perfis de sondagens individuais – Projeto executivo:

- Sondagem SME-01MAN;
- Sondagem SME-02MAN;
- Sondagem SME-03MAN;
- Sondagem SME-04MAN;
- Sondagem SME-05MAN;
- Sondagem SME-06MAN;
- Sondagem SME-07MAN;
- Sondagem SME-08MAN.

II. Ensaios de perda d’ água e permeabilidade das sondagens – Projeto executivo:

- Sondagem SME-01MAN com ensaios de permeabilidade nos trechos:
  - 1,50 a 2,00m;
  - 3,50 a 4,00m;
  - 5,50 a 6,00m;
  - 7,50 a 8,00m;
  - 9,50 a 10,00m e
  - 11,50 a 12,00m.
- Sondagem SME-02MAN com ensaios de permeabilidade nos trechos:

- 2,50 a 3,00m;
- 4,50 a 5,00m e
- 6,50 a 7,00m.
- Ensaios de perda d'água no trecho:
  - 10,00 a 12,00.
- Sondagem SME-03MAN com ensaios de permeabilidade nos trechos:
  - 2,50 a 3,00m;
  - 4,50 a 5,00m;
  - 6,50 a 7,00m e
  - 8,50 a 9,00m.
- Sondagem SME-04MAN com ensaios de permeabilidade nos trechos:
  - 2,50 a 3,00m e
  - 4,50 a 5,00m.
- Sondagem SME-05MAN com ensaios de perda d'água nos trechos:
  - 12,00 a 13,95m.

### III. Fotos das caixas de testemunhos das sondagens:

- SME-01MAN (caixa única);
- SME-02MAN (caixa única);
- SME-03MAN (caixa única);
- SME-04MAN (caixa única) e
- SME-05MAN, caixa 1, caixa 2 e caixa 3,

### IV. Ensaios de caracterização das jazidas de material construtivo

#### IV.I Jazidas de material argiloso com ensaios de:

- Granulometria completa;
- Limites de Atterberg;
- Peso específico real dos grãos;

- Compactação Proctor normal.
- Peso específico “in-situ” e umidade natural em 5 amostras (registros 697, 704, 706, 723 e 728) da área de empréstimo da barragem Mandantes. Um ensaio químico para determinação de dispersividade em solos numa amostra identificada como “Barragem Mandantes (jazida)”,

#### IV.I Jazidas de material arenoso:

- Dois ensaios de análise granulométrica de agregado miúdo nas amostras 1 e 2 da jazida Areia Mandantes;
- Quadro de descrição de materiais disponíveis (somente Areia) na jazida 02 Material arenoso;
- Quadro de descrição de materiais disponíveis (somente conglomerado) na jazida 03 Conglomerado;
- Quadro de descrição de materiais disponíveis (somente Areia) na jazida 04 Material arenoso e
- Quadro de descrição de materiais disponíveis (somente Areia) na jazida 05 Material arenoso.

#### IV.II Jazidas de material rochoso com:

- Ensaios de desgaste por abrasão Los Angeles da jazida Salgueiro;
- Análise petrográfica da jazida Salgueiro;
- Potencial de reatividade para o desenvolvimento de reação álcali – agregado da jazida Salgueiro e da jazida Braunas.

#### V. Ensaios especiais – Jazidas de material argiloso com:

- Certificado nº 664/2008 do laboratório de solos e instrumentação da UFPE com:
  - Um ensaio de compactação Proctor de uma amostra da Jazida Material Argiloso Mandantes;
  - Um ensaio de pressão de expansão de uma amostra da Jazida Material Argiloso Mandantes;
  - Um ensaio de expansão livre de uma amostra da Jazida Material Argiloso Mandantes;
  - Um ensaio de adensamento de um bloco indeformado da fundação da barragem Mandantes, no eixo na estaca 44+10;
  - Um ensaio de cisalhamento direto de uma amostra compactada da Jazida

Material Argiloso Mandantes;

- Um ensaio de cisalhamento, de um bloco indeformado da fundação da barragem Mandantes, no eixo na estaca 44+10;
- Um ensaio triaxial UU de uma amostra compactada da Jazida Material Argiloso Mandantes;
- Um ensaio triaxial UU de um bloco indeformado da fundação da barragem Mandantes, no eixo na estaca 44+10 e
- Um ensaio de permeabilidade com carga variável de uma amostra da Jazida Material Argiloso Mandantes.

#### VI. Folhas de ensaios do laboratório de mecânica dos solos da UFRN:

- Um ensaio de adensamento da amostra SM-C 03 de argilito indeformado (argilito vermelho), estaca 12+500 da obra P1SF (inundada em 12,5kPa);
- Um ensaio de adensamento da amostra SM-C 03 de argilito indeformado (argilito vermelho), estaca 12+500 da obra P1SF (inundada em 100kPa);
- Um ensaio de adensamento da amostra SM-C 03 de argilito indeformado (argilito escuro), estaca 12+500 da obra P1SF (inundada em 100kPa);
- Dois ensaios de adensamento de uma amostra indeformada, estaca 18+10 - Mandantes (inundadas em 12,5kPa);
- Dois ensaios de adensamento de uma amostra indeformada, estaca 18+10 - Mandantes (inundadas em 100kPa);
- Um ensaio de adensamento de uma amostra compactada da Ombreira esquerda de Mandantes EST 65 EST 1+300 (inundada em 12,5kPa);
- Um ensaio de adensamento de uma amostra compactada da Ombreira esquerda de Mandantes EST 65 EST 1+300 (inundada em 50kPa);
- Um ensaio de adensamento de uma amostra compactada da Ombreira esquerda de Mandantes EST 65 EST 1+300 (inundada em 100kPa);
- Um ensaio de adensamento de uma amostra compactada da Ombreira esquerda de Mandantes EST 65 EST 1+300 (inundada em 200kPa).

#### VII. Folha de ensaio químico para determinação de dispersibilidade em solo:

- Um ensaio em uma amostra de argilito marrom – EST 12+500 e
- Um ensaio em uma amostra de argilito vermelho – EST 12+500.



## VIII. Relatórios da UFRN:

- Relatório – nº 01-11-09 – Ensaio de Oedométrico de Solo da Barragem Mandantes – Ombreira Esquerda e
- Relatório – nº 02-11-09 – Propriedades Geotécnicas do Argilito da Bacia do Jatobá.

### b.2) Desenho A: Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V. Eixo Leste – Lote C – Projeto Executivo:

- Planta de escavação barragem, tomada d'água e sangradouro; 1230-DEP-2106-04-24-001.
- Trecho V – Barragem de Mandantes: curva cota área x cota volume; 1230-DEP-2106-20-04-001.
- Seção tipo da barragem e Detalhe da crista e do dreno de pé. 1230-DEP-2106-04-46-002.

### b.3) Desenho B: Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V. Eixo Leste – Lote C – Projeto Executivo:

- Planta de escavação: barragem, tomada d'água e sangradouro , 1230-DEP-2106-04-24-001.
- Perfil longitudinal “A” (perfil geológico-geotécnico pelo eixo da barragem). 1230-DEP-2106-04-02-001 (Folha 01/02).

### b.4) Desenho 1230-DEP-2106-04-02-001 (Folha 01/02): Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V. Eixo Leste – Lote C – Projeto Executivo – Barragem Mandantes – Planta de localização das sondagens e seção geológico-geotécnica.

### b.5) Desenho 1230-DEP-2106-04-02-002: Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V. Eixo Leste – Lote C – Projeto Executivo – Barragem Mandantes – Planta de localização das jazidas, áreas e volumes.

### b.6) Desenho 1230-DEP-2106-04-02-001 (Folha 02/02): Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V. Eixo Leste – Lote C – Projeto Executivo – Barragem Mandantes – Seção geológico – geotécnica transversal 58.

O Quadro 1, a seguir, reproduz os dados relativos à Barragem Mandantes, apresentados no Anexo II do “Relatório Geologia – Geotecnia”:

### QUADRO 1

#### SONDAGENS ROTATIVAS EXECUTADAS NA BARRAGEM MANDANTES

SR	LOCALIZAÇÃO	E	N	COTA	COLUVIÃO	ALUVIÃO	SOLO ELUVIAL (SE)	SOLO DE ALTERAÇÃO (SA)	RAM	RAD	RS	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE FINAL (m)
SR-29	BARRAGEM MANDANTES	588.650	9.041.227	398,25	0,00 A 0,30	-	-	-	-	0,30 A 13,05	-	CONGLOMERADO	13,05
SR-30	BARRAGEM MANDANTES	588.953	9.041.128	395,85	0,00 A 0,50	-	0,50 A 1,30	1,30 A 8,15	8,15 A 15,05	-	-	ARENITO	15,05
SR-31	BARRAGEM MANDANTES	589.405	9.040.936	393,30	0,00 A 0,60	0,60 A 9,05	-	9,05 A 10,10	10,10 A 13,01	-	-	ARENITO	13,01
SR-32	BARRAGEM MANDANTES	589.667	9.040.896	395,20	0,00 A 1,50	-	1,50 A 2,45	2,45 A 6,24	6,24 A 12,06 C/SA	-	-	ARENITO	12,06

No anexo II do “Relatório Geologia-Geotecnia” que trata dos “Perfis das sondagens a percussão”, consta:

*“Foram realizados 116 furos totalizando 196,33 metros perfurados entre barragens e trechos em canal. A distribuição dos furos é apresentada no Quadro 1.”*

O “Quadro 1” do anexo II acima mencionado indica que foram executadas 7 sondagens a percussão na barragem Mandantes. Conforme informações recebidas anteriormente, estas 7 sondagens são SP-59 a SP-65.

O quadro 2, a seguir, reproduz a parte do quadro-resumo (“Quadro 1”) do anexo II relativo à barragem Mandantes:

## QUADRO 2

### SONDAGENS A PERCUSSÃO EXECUTADAS NA BARRAGEM MANDANTES

SP	LOCALIZAÇÃO	E	N	COTA	COLUVIÃO	ALUVIÃO	SOLO ELUVIAL (SE)	SOLO DE ALTERAÇÃO (SA)	PROFUNDIDADE FINAL (m)
SP-59	BARRAGEM MANDANTES	589.191	9.041.049	390,60	0,00 A 0,25	-	-	0,25 A 9,30	9,30
SP-60	BARRAGEM MANDANTES	589.432	9.041.016	389,90	-	0,00 A 1,45	-	-	1,45
SP-61	BARRAGEM MANDANTES	589.418	9.040.976	389,10	-	0,00 A 6,78	-	-	6,78
SP-62	BARRAGEM MANDANTES	589.857	9.040.833	399,20	0,00 A 1,20	-	-	1,20 A 5,66	5,66
SP-63	BARRAGEM MANDANTES	590.039	9.040.774	404,50	0,00 A 1,20	-	-	1,20 A 12,05	12,05
SP-64	BARRAGEM MANDANTES	589.999	9.040.672	403,50	0,00 A 1,83	-	-	1,83 A 6,15	6,15
SP-65	BARRAGEM MANDANTES	589.900	9.040.620	400,40	0,00 A 4,51	-	-	4,51 A 7,10	7,10

No anexo IV que trata dos “Ensaio de laboratório”, consta: *“Estamos enviando a V.Sas, relatório contendo os resultados dos ensaios de laboratório que realizamos em amostras deformadas e indeformadas de solo (tipo Bloco) provenientes das obras de Transposição das Águas do Rio São Francisco, Estado de Pernambuco. Os ensaios foram realizados de acordo com a programação fornecida por V.Sas., e estão abaixo relacionados:*

- *Teor de Umidade Natural ..... 172 ensaios.....ANEXO-II e III;*
- *Limites de Atterberg (LL+LP)..... 74 ensaios..... ANEXO-II e IV;*
- *Análise Granulométrica por Peneiramento ..... 26 ensaios..... ANEXO-V;*
- *Análise Granulométrica Conjunta..... 74 ensaios..... ANEXO-VI;*
- *Ensaio de Compactação ..... 59 ensaios ..... ANEXO-VII;*

- *Pressão de Expansão ..... 01 ensaio..... ANEXO-VIII;*
- *Compressão Triaxial Adensado Rápido, Saturado por Contra Pressão com Medida de Pressão Neutra ..... 25 ensaios..... ANEXO-IX;*
- *Análise Petrográfica com Fotomicrografia..... 08 ensaios..... ANEXO-X”.*

O quadro 3, a seguir, apresenta a parte do quadro - resumo dos resultados dos ensaios que consta do anexo IV que diz respeito à barragem Mandantes.

Como pode-se observar, foram executadas 15 determinações de umidade ótima em 15 amostras extraídas de 7 sondagens a trado.

### QUADRO 3

**TABELA RESUMO DE RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

Reg. nº	Local	Sondagem nº	Am. Nº	Prof. m	Índice físico	Limites de Atterberg		δ (g/cm³)	γs max (g/cm³)	γs min (g/cm³)	Compactação		Permeabilidade			
					w nat (%)	LL (%)	LP (%)				w ót (%)	γs max (g/cm³)	Constante		Variável	
													γs (g/cm³)	K20 cm/s	γs (g/cm³)	K20 cm/s
4644	Barr. Mandantes	ST-11	1	0,0-0,5	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4645	Barr. Mandantes	ST-11	1	0,5-0,84	8,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4646	Barr. Mandantes	ST-12	2	0,0-0,5	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4647	Barr. Mandantes	ST-12	2	0,5-0,82	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4648	Barr. Mandantes	ST-28	3	0,0-0,5	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4649	Barr. Mandantes	ST-31	4 (?)	0,0-0,5	10,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4650	Barr. Mandantes	ST-31	4 (?)	0,5-1,0	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4651	Barr. Mandantes	ST-31	4 (?)	1,0-1,5	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4652	Barr. Mandantes	ST-38	5 (?)	0,0-0,5	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4653	Barr. Mandantes	ST-38	5 (?)	0,5-1,0	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4654	Barr. Mandantes	ST-38	5 (?)	1,0-1,52	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4655	Barr. Mandantes	ST-39	6 (?)	0,0-0,5	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4656	Barr. Mandantes	ST-45	7 (?)	0,0-0,5	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4657	Barr. Mandantes	ST-45	7 (?)	0,5-1,0	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4658	Barr. Mandantes	ST-45	7 (?)	1,0-1,5	5,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

O ensaio de “Pressão de Expansão” que consta do “ANEXO-VIII” é, na realidade, um “Ensaio de adensamento para determinação da pressão de expansão” que foi feito numa amostra de “Silte arenoso pouco argiloso” coletado de 0,00 a 0,30m no furo EBV-3 no local “Barragem Salgueiro”.

O capítulo “Análise Petrográfica com Fotomicrografia” que consta do “ANEXO-X” apresenta, além das “análises petrográficas” mencionadas no título, duas análises minereológicas por difratometria de raios X e dois ensaios de pressão de expansão.

No anexo V consta a descrição dos pontos visitados, sendo uma folha de descrição por cada um dos 238 pontos visitados.

O quadro 4, a seguir, mostra uma síntese dos pontos que apresentam uma, ou mais, das seguintes características:

- I. Consta a palavra argilito no campo “Litologia principal” e/ou no campo “Descrição geológico – geotécnica”;
- II. O ponto está localizado no trecho entre EBV-2 (Est. 17+713) e a barragem Mandantes;
- III. O ponto está localizado no trecho entre a barragem Mandantes e EBV-3 (Est. 35+893).

**QUADRO 4**

Nº	ESTACA	LOCAL	DESCRIÇÃO	LITOLOGIA
1	001+950	Trecho entre EBV-1 e EBV-3	Conglomerado composto por blocos arredondados (até 15cm de diâmetro) de rochas cristalinas, envoltos em matriz arenosa, pouco argilosa sobre <b>argilito</b> avermelhado e esverdeado. Espessura do terraço: 1,5m.	Conglomerado
3	003+050	Trecho entre EBV-1 e EBV-3	Arenito brando a médio, de granulometria média sobre <b>argilito</b>	Arenito
5	004+600	Trecho entre EBV-1 e EBV-3	Terraço fluvial sobre <b>argilito</b> (espessura de metro)	<b>Argilito</b>
7	005+000	Trecho Inicial	Arenito conglomerático silicificado e laterizado sobre <b>argilito</b> cinza	Arenito conglomerático
8	005+700	Trecho entre EBV-1 e EBV-3	<b>Argilito</b> avermelhado e empastilhado	<b>Argilito</b>
11	006+500	-	Conglomerado composto por blocos arredondados (até 15cm de diâmetro) de rochas cristalinas, envoltos em matriz arenosa, pouco argilosa sobre <b>argilito</b> avermelhado e esverdeado. Espessura do terraço: 2m	Conglomerado
12	006+500	Cruzamento da estrada de asfalto/Canal	<b>Argilito</b> avermelhado RAM, intercalado a solo residual. Extenso afloramento no lado direito da estrada.	<b>Argilito</b>

#### QUADRO 4 – (CONTINUAÇÃO)

Nº	ESTACA	LOCAL	DESCRIÇÃO	LITOLOGIA
30	019+900	Sítio Braúnas/Ombreira esquerda/Barragem 2	Gnaiss com intercalações de solo coluvionar. Blocos centimétricos de gnaiss (diâmetro de 5 a 50cm) em superfície junto a solo coluvionar (areia argilosa, marrom) Área de gnaiss e granito-gnaiss (apresentando localmente textura granítica). Blocos e fragmentos de rocha intercalado a solo coluvionar.	Gnaiss
31	020+500	Estrada para Sítio Cripim/Canal	Biotita Gnaiss: RAM/RAD, com foliação definida, cinza e marrom, muito fraturado, fraturas preferenciais ao longo dos planos de foliação.	Biotita gnaiss
32	021+600	Reservatório Barragem 2/Canal	Granito porfírico: cinza, são, formando pequeno afloramento e blocos centimétricos em superfície. Constituído de quartzo, feno-cristais de K-feldspato e biotita.	Granito
33	021+400	Aproximadamente a 500m do Canal Alternativo	Arenito médio silicificado em superfície, exibindo porções de AS (~0,50cm), RAM(1m) e no restante RAD/RD. A porção escarificável (2ª categoria) não deve exceder 1,5m).	Arenito
34	022+900	Próximo eixo junto ao açude/canal	Granito-porfírico: RS, cinza, pouco fraturado, composto por quartzo, feno-cristais de feldspato e biotita. Textura oftálmica. Afloramento arredondado típico dos granitos desta região.	Granito
35	023+400	Entre Sítios Cripim e Lajedo/Canal	Biotita-Gnaiss: cinza escuro a marrom, pouco a medianamente fraturado.	Biotita gnaiss
36	024+250	Próximo a estaca 23+00/Canal	Granito porfírico: RS, pouco fraturado, cinza e róseo, textura oftálmica, composto por quartzo, feldspato e biotita. Extensos afloramentos de granito porfírico ao longo de todo morro.	Granito
37	025+800	1,5km ao Sul do canal (alternativa nova)	Granitóide pórfiro são, muito pouco fraturado. 3ª categoria de escavação.	Granito
38	026+500	Estrada de acesso ao canal estaca 25+00/Canal	Migmatito: cinza, são, pouco a medianamente fraturado, composto por quartzo, feldspato e biotita, textura nebulítica intercalado por granito-porfírico com estrutura oftálmica. Predominância de migmatito.	Migmatito
39	027+900	Trecho entre EBV-1 e EBV-3		Conglomerado
40	028+600	Trecho entre EBV-1 e EBV-3		Conglomerado
41	029+900	Trecho entre EBV-1 e EBV-3		Colúvio
42	030+100	Leito do Riacho Mandantes/Trecho V	Contato do aluvião arenoso do leito do Riacho Mandantes com o colúvio que recobre toda a área, nos locais de topografia mais elevada. Colúvio: areia fina, pouco argilosa, marrom avermelhada	Coluvião/Arenito

43	031+100	Riacho Mandantes/Trecho V	Contato do aluvião arenoso do leito do Riacho Mandantes com o colúvio que recobre toda a área, nos locais de topografia mais elevada. Colúvio: areia fina, pouco argilosa, marrom avermelhada.	Coluvião/Arenito
----	---------	---------------------------	--	------------------

#### QUADRO 4 – (CONTINUAÇÃO)

Nº	ESTACA	LOCAL	DESCRIÇÃO	LITOLOGIA
44	031+700	Trecho entre EBV-1 e EBV-3		Conglomerado
45	031+800	Trecho entre EBV-1 e EBV-3		Conglomerado
46	032+100	Trecho entre EBV-1 e EBV-3		Colúvio
47	032+500	Próximo ao Canal Alternativo/Trecho V		Migmatito
48	032+950	Leito do Riacho Mandantes	Areia fina com níveis de areia média e presença de cascalho esparsos. A sondagens SP-07 indicou espessura de 5,0m para este material.	Areia com cascalho
49	033+700	Trecho entre EBV-1 e EBV-3		Aluvião
50	033+800	Eixo do Canal Alternativo/Trecho V	Cobertura coluvionar e aluvionar (nos pontos mais baixos) com afloramento de migmatito são. O migmatito possui porfiroblastos de feldspato, lembrando estrutura oftálmica, em matriz de coloração cinza.	Migmatito
51	035+250	Próximo ao Canal Alternativo/Trecho V	A cobertura coluvionar, formada por fragmentos de rocha intercalados com areia argilosa, cinza a marrom-claro, sugere ser um capeamento de rochas cristalinas.	Colúvio
52	035+250	Entre Riacho Mandantes e Caraíbas/Trecho V	RAM de Arenito constituída de areia fina pouco argilosa (dissolve-se facilmente em contato com água), com presença de cascalho centimétricos, por vezes arredondados, envoltos em matriz arenosa. Camada sub-horizontais de RAM de arenito. Neste local o arenito não apresenta-se silicificado em superfície. Escavação cat. 1 e 2. Maciço classe IV.	Arenito
53	036+000	Local da EB-2/Trecho V	Em superfície ocorrem intercalações de argila avermelhada com fragmentos de rocha em grande quantidade, vindos do morro adjacente se direcionando para as drenagens da parte mais baixa. Nota-se em alguns pontos a presença de solo e aluvião de <b>argilito</b> .	Argila



## 4 CONHECIMENTO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM

### 4.1 SEÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA LONGITUDINAL PELO EIXO DA BARRAGEM

Consta do acervo técnico que foi fornecido à MECASOLO a seção geológico-geotécnica longitudinal da fundação pelo eixo da barragem que faz parte dos seguintes documentos do projeto executivo:

- a) Desenho B: Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V - Eixo Leste – Lote C – Projeto executivo com:
  - Planta de escavação: barragem, tomada d'água e sangradouro 1230-DEP-2106-04-24-001.
  - Perfil longitudinal “A” (perfil geológico-geotécnico pelo eixo da barragem). 1230-DEP-2106-04-02-001(Folha 01/02).
- b) Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V. Eixo Leste – Lote C – Projeto Executivo – Barragem Mandantes – “Planta de localização das sondagens e seção geológico-geotécnica longitudinal”. 1230-DEP-2106-04-02-001 (Folha 01/02):

O mapa geológico do local da barragem que consta do documento:

- c) A.4 Desenho EN.B/V.DS.GL.0018-R0/C - Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo norte – “Barragem Mandantes – Mapa geológico e seção geológico-geotécnica A”.

Indica que toda a área na qual será implantado o maciço é constituída pela “*Sequência sedimentar da bacia do Jatobá: folhelhos, argilitos e siltitos vermelho-tijolo, marrom avermelhado e cinza esverdeado, intercalados com arenitos finos e conglomeráticos e conglomerados polimíticos com intercalações de folhelhos e arenitos*”.

A seção geológico-geotécnica recebida nos documentos 1230-DEP-2106-04-02-001 (Folha 01/02) e EN.B/V.DS.GL.0018-R0/C indica a existência de argilito detectada na sondagem SME-03MAN executada na fase do projeto executivo e na sondagem SP61 executada na fase do projeto básico, ambas localizadas na região do leito do rio, nas estacas 44+10,00m e 49+9,41m respectivamente.

Nas duas sondagens vizinhas, a saber, SME-02MAN na estaca 36+0,00m e SR32 na estaca 62+10,64m, a seção geológico-geotécnica não indica a presença de nenhum horizonte de argilito e a figura 4, a seguir, mostra a representação da camada de argilito na seção geológico-geotécnica recebida.





**FOTO 2**

Observa-se, nas fotos acima, que as camadas de argilito tem perfil levemente ondulado, encontrando-se entre horizontal e sub-horizontal.

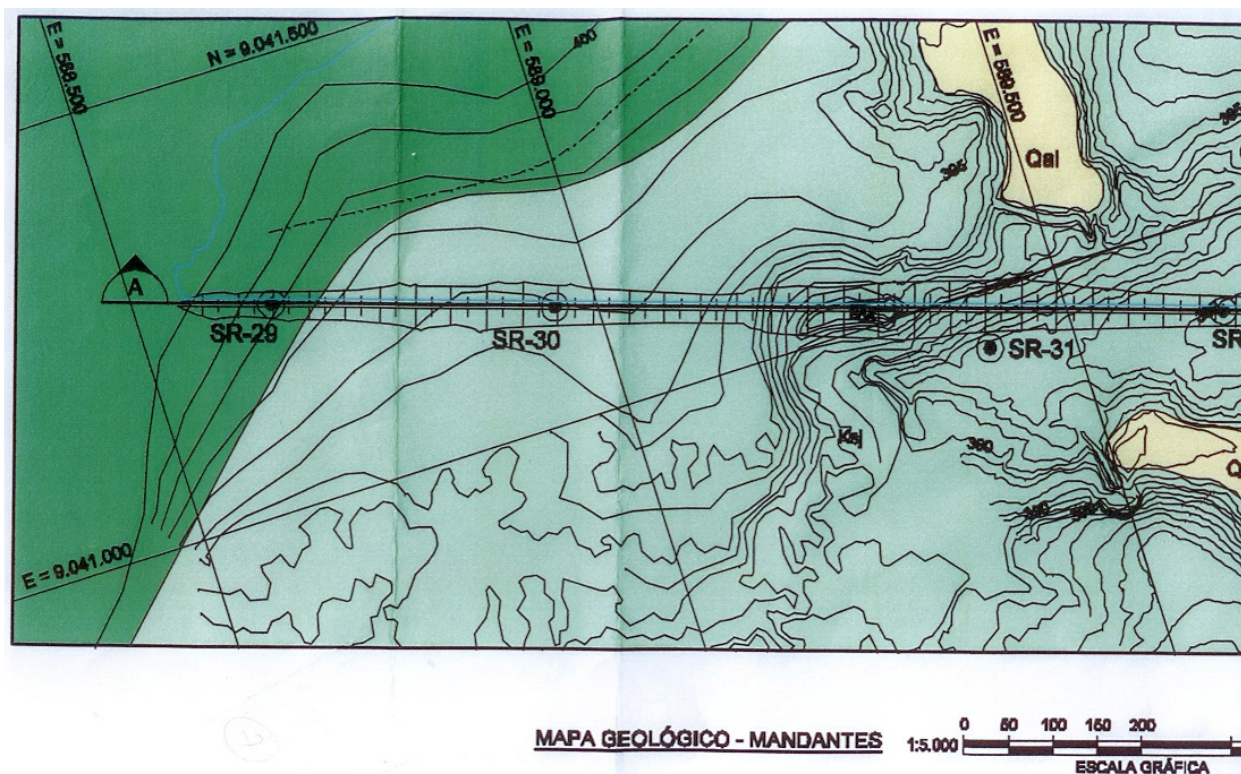
O Relatório EN.B/V.RF.GL.0001 Revisão 0/C “Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Leste R9 – Geologia e Geotecnia” indica no seu item “Conclusões e Recomendações” (documento A.1) indica o seguinte:

*“A sondagem SR 29, executada na ombreira direita, mostrou a presença de 0,30 m de solo coluvionar na superfície capeando diretamente o conglomerado, constituído por blocos decimétricos de rochas gnáissicas e graníticas, principalmente, envoltos em matriz compacta argilo-arenosa e/ou areno-siltosa. Conforme ocorrido em outros locais, a obtenção dos índices SPT e a recuperação da matriz do conglomerado, foram prejudicadas pela presença constante e intensa de blocos de rocha. Amostragens e valores obtidos de SPT indicam tratar-se de matriz areno-argilosa compacta a muito compacta. Os ensaios de infiltração indicaram absorções nulas, resultados estes que podem não refletir a permeabilidade dessa matriz. Uma segunda sondagem, SR 30, executada a meia encosta interceptou o arenito conglomerático, de granulação fina, muito siltosa, pouco coerente a incoerente, muito compacto e com permeabilidade muito baixa. O contato entre essas litologias se faz de forma gradativa e interdigitada, podendo ocorrer intercalações de argilito/siltito.”*

A seção geológica-geotécnica recebido nos documentos B3 e B4 representa um contato vertical na ombreira direita entre o conglomerado indicado na sondagem SR29 e o arenito indicado na sondagem SME-01MAN como reproduzido na figura 5, a seguir:







**FIGURA 6**

Como se observa na figura 6, a interseção do contato entre o conglomerado e o arenito com o terreno natural sobe de forma contínua e gradativa da cota 396m, na parte de baixo do desenho, até a cota 397,50m, na parte superior, o que sugere que o contato se dê ao longo de um plano subhorizontal.

Analisando as sondagens disponíveis, começando pela ombreira direita e caminhando para a ombreira esquerda no sentido da numeração crescente das estacas, tem-se, destacando em **negrito** as camadas argilosas:

- SR29 (E. 9+0,00m) com:
  - 0,00 a 0,30m: Coluvião: areia fina, argilosa marrom avermelhado;
  - 0,30 a 13,05m: Conglomerado, incoerente, blocos de arenito, gnaiss, granito e quartzo, esparsos, em matriz de areia fina a média, argilosa, marrom amarelado até 7,00m e daí em diante marrom avermelhado, blocos e seixos recuperados de 6,08 a 7,77m, 9,82 a 10,04m, 10,20 a 10,50m e 10,91 a 12,00m.
- SME-01MAN (E. 17+0,00m) com:
  - 0,00 a 2,23m: Areia fina e média, siltosa, cinza claro;
  - 2,23 a 3,38m: Areia média e grossa, argila siltosa com fragmentos de rocha, cinza claro;
  - 3,38 a 7,00m: Areia fina e média quartzo-siltosa, com raros fragmentos de conchas medianamente compacta, cinza claro;

- 7,00 a 12,24m: Areia fina quartosa, compacta a muito compacta.
- SR30 (E. 25+0,00m) com:
  - 0,00 a 0,50m: Coluvião, areia fina, argilosa, marrom;
  - 0,50 a 1,30m: Solo eluvial, areia arenosa, com blocos, marrom;
  - 1,30 a 4,10m: Solo de alteração de arenito, areia fina siltosa, marrom amarelado;
  - 4,10 a 8,15m: Solo de alteração de arenito, areia média a grossa, pouco siltosa, marrom amarelado;
  - 8,15 a 15,05m: Arenito de granulação fina, muito siltosa, predominantemente amarelo com manchas cinza, incoerente até 12,07m. daí em diante, pouco coerente, de cor cinza com algumas intercalações centimétricas de areia grossa.
- SME-02MAN (E. 36+0,00m) com:
  - 0,00 a 1,85m: Silte areno-argiloso, com pedregulhos de dimensões variáveis, medianamente compacto, cinza variegado;
  - 1,85 a 3,70m: Areia fina e média, siltosa, medianamente compacta a compacta, acinzentada;
  - 3,70 a 5,60m: Areia grossa e média, medianamente compacta a compacta, cinza variegada;
  - 5,60 a 8,30m: Silte arenoso pouco argiloso, compacto, cinza variegado;
  - 8,30 a 9,80m: Pedregulhos com areia fina e média, pouco siltosa amarelado;
  - 9,80 a 12,10m: Areia fina e média, siltosa, compacta a muito compacta, amarelado (Arenito incoerente).
- SP59 (E.37+10,00m) com:
  - 0,00 a 0,25m: Coluvião, areia fina, argilosa, marrom avermelhada;
  - 0,25 a 1,70m: Solo de alteração de arenito, argila arenosa (média), com grânulos de quartzo, marrom acinzentado;
  - 1,70 a 3,27m: Solo de alteração de arenito, areia fina argilosa, cinza esverdeada;
  - 3,27 a 4,20m: Solo de alteração de arenito, argila arenosa, com grânulos de quartzo, cinza, variegada;
  - 4,20 a 9,30m: Solo de alteração de arenito, areia média a fina, siltosa, cinza, 6,00 – 6,20 cinza amarelada, 8,00 – 9,30 cinza com manchas vermelhas.

- SME-03MAN (E. 44+10,00m) com:
  - 0,00 a 1,97m: Silte arenoso, pouco compacto, marrom;
  - 1,97 a 3,95m: Areia fina e média, pouco siltosa, pouco compacta à medianamente compacta, cinza, clara;
  - 3,95 a 6,90m: Argila siltosa, dura, cinza;
  - 6,90 a 12,45m: Areia grossa e média, medianamente compacta, cinza.
- SP61 (E 49+10,00m) com:
  - 0,00 a 0,45m: Aluvião, areia fina, argilosa, marrom escura;
  - 0,45 a 1,00m: Aluvião, areia fina a média pouco siltosa, marrom amarelada;
  - 1,00 a 2,87m: Aluvião, areia grossa, pouco siltosa, com seixos pequenos de quartzo e fragmentos de rocha marrom;
  - 2,87 a 3,65m: Aluvião, argila arenosa, cinza escura;
  - 3,65 a 5,72m: Aluvião, areia fina a média, pouco siltosa, marrom acinzentada;
  - 5,72 a 6,78m: Aluvião, areia fina, siltosa, pouco micácea, cinza esverdeada.
- SP60 (E 49+10,00m a montante), com:
  - 0,00 a 0,45m: Aluvião, areia fina, pouco argilosa, com fragmentos de quartzo e feldspato, de cor marrom;
  - 0,45 a 1,00m: Aluvião, argila arenosa, marrom escuro;
  - 1,00 a 1,33m: Aluvião, areia grossa, pouco siltosa marrom;
  - 1,33 a 1,45m: Aluvião, arenito silicificado.
- SR31 (E 49+10,00m: a jusante), com:
  - 0,00 a 0,60m: Coluvião, areia fina, argilosa, marrom avermelhada;
  - 0,60 a 9,05m: Aluvião, areia média a grossa argilosa, com seixos e blocos, marrom;
  - 9,05 a 13,01m: Arenito conglomerático incoerente, pouco argiloso, marrom com seixos centimétricos até 10,10m, daí em diante, cinza róseo, pouco coerente.
- SME-07MAN (E 58+0,00m) com:
  - 0,00 a 1,50m: Colúvio. Areia fina siltosa;
  - 1,50 a 8,00m: Solo de alteração de arenito areia fina a média siltosa medianamente compacta a compacta;

- 8,00 a 23,00m: Arenito C3/C4 pouco coerente a incoerente;
- 23,00 a 31,00m: Arenito C2/C3 coerente a pouco coerente.
- SME-06MAN (E 58+0,00m a montante):
  - 0,00 a 1,00m: Colúvio. Areia fina siltosa;
  - 1,00 a 6,00m: Solo de alteração de arenito areia fina a média siltosa medianamente compacta a compacta;
  - 6,00 a 21,00m: Arenito C3/C4 pouco coerente a incoerente;
  - 21,00 a 31,00m: Arenito C2/C3 coerente a pouco coerente.
- SME-08MAN (E 58+0,00m a jusante):
  - 0,00 a 1,00m: Colúvio. Areia fina siltosa;
  - 1,00 a 6,50m: Solo de alteração de arenito areia fina a média siltosa medianamente compacta a compacta;
  - 6,50 a 20,00m: Arenito C3/C4 pouco coerente a incoerente;
  - 20,00 a 30,50m: Arenito C2/C3 coerente a pouco coerente.
- SR32 (E 62+10,00m) com:
  - 0,00 a 1,50m: Coluvião, areia fina, siltosa, marrom avemelhado;
  - 1,50 a 2,45m: Solo eluvial de arenito, areia fina, siltosa, marrom;
  - 2,45 a 6,24m: Solo de alteração de arenito, areia média, siltosa, marrom amarelado;
  - 6,24 a 12,06m: Arenito incoerente, areia fina, siltosa com níveis conglomeráticos de 6,24 a 7,15m e de solo de alteração a 7,00 e 8,00m.
- SP62 (E 73+10,00m) com:
  - 0,00 a 1,20m: Coluvião, areia fina, argilosa, marrom amarelada;
  - 1,20 a 3,70m: Solo de alteração de arenito, argila fina (areia fina) argilosa, cinza;
  - 3,70 a 5,66m: Solo de alteração de arenito, argila arenosa com grânulos, cinza variegado.
- SME-04MAN (E.76+15,00) com:
  - 0,00 a 0,84m: Areia fina e média, pouco siltosa, fofa, vermelha;



- 0,84 a 4,60m: Areia fina com pouca areia média siltosa, pouco à medianamente compacta, cinza clara;
- 4,60 a 6,45m: Areia fina e média, siltosa, pouco compacta à medianamente compacta, cinza claro.
- SME-05MAN (E 76+15,00m a jusante) com:
  - 0,00 a 1,00m: Solo de alteração arenito, areia fina e média pouco argilosa;
  - 1,00 a 11,00m: Arenito fino a médio (C3/C4), de 3,40 a 10,90 ocorrerem lentes de argilito e de siltito;
  - 11,00 a 14,00m: Arenito médio (C2).
- SP65 (E. 78+0,00m a jusante) com:
  - 0,00 a 1,45m: Coluvião, areia fina, argilosa, marrom avermelhado;
  - 1,45 a 4,25m: Coluvião, areia fina, pouco siltosa, marrom amarelado;
  - 4,25 a 4,51m: Coluvião, areia média a fina pouco siltosa, com pequenos seixos, marrom amarelado;
  - 4,51 a 7,10m: Solo de alteração de arenito, areia fina argilosa, marrom acinzentado.
- SP64 (E 01D+15,00m a jusante) com:
  - 0,00 a 1,83m: Coluvião, areia fina, argilosa, marrom avemelhada;
  - 1,83 a 5,63m: Solo de alteração de arenito, areia fina argilosa, cinza e vermelha;
  - 5,63 a 6,15m: Solo de alteração de arenito, areia grossa com fragmentos de rocha.
- SP63 (E 02D) com:
  - 0,00 a 1,20m: Coluvião, areia fina argilosa, marrom amarelada com pedregulhos;
  - 1,20 a 3,70m: Solo de alteração de arenito, argila pouco arenosa (fina), cinza e vermelho;
  - 3,70 a 12,05m: Solo de alteração de arenito, areia fina, siltosa, cinza e cinza avermelhado.

Somente aquelas das sondagens acima listadas que estão localizadas no eixo da barragem constam da seção geológico-geotécnica longitudinal pelo eixo da barragem apresentada no documento B.3 “Desenho B: Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V. Eixo leste – Lote C – Projeto Executivo – Folha 01/01-R01 com a planta de escavação da barragem, da tomada d’água e do sangradouro e o perfil longitudinal “A” (perfil geológico-geotécnico pelo eixo da barragem)” e do documento B.4 Desenho 1230-DEP-2106-04-02-001 (Folha 01/02):

Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V. Eixo Leste – Lote C – Projeto Executivo – “Barragem Mandantes – Planta de Localização das Sondagens e Seção Geológico-Geotécnica Longitudinal”.

O quadro 5, a seguir, lista as sondagens localizadas no eixo da barragem e indica, para cada sondagem, a localização (estaca) e a cota da boca que constam dos boletins e do desenho da seção geológico-geotécnica longitudinal pelo eixo:

**QUADRO 5**

SONDAGEM	ESTACA	COTA DA BOCA	
		NO BOLETIM	NA SEÇÃO
SR-29	9+0,00m	398,25m	395,87m
SME-01MAN	17+0,00m	Não consta	392,43m
SR-30	25+0,00m	395,85m	392,49m
SME-02MAN	36+0,00m	393,73m	393,73m
SP-59	37+10,65m	390,60m	Não consta
SME-03MAN	44+10,00m	387,19m	387,33m
SP-61	49+9,41m	389,10m	389,15m
SME-07MAN	58+0,00m	Não consta	Não consta
SR-32	62+10,64m	395,20m	394,83m
SP-62	72+10,82m	399,20m	Não consta
SME-04MAN	77+0,00m	401,00m	401,61m
SP-63	82+2,14m	404,50m	Não consta

Observa-se no quadro acima uma grande discrepância (da ordem de 3 metros) entre as cotas das bocas das sondagens SR29 e SR30 indicadas nos boletins e as cotas das bocas indicadas na seção. Estas duas sondagens estão localizadas na ombreira direita.

A figura 7, a seguir, mostra as curvas de nível do terreno natural na ombreira direita da barragem que constam do desenho de mapeamento geológico-geotécnico do projeto básico “EN.B/V.DS.GL.0018-R0/C - Projeto de Transposição de Água do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Norte – Barragem Mandantes – Mapa Geológico e Seção Geológico – geotécnica A”, que, junto com as locações das sondagens SR-29 e SR-30, foram digitalizadas e inseridas na planta de escavação da barragem que consta do projeto executivo como documento B.3 “Desenho B: Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V. Eixo Leste – Lote C – Projeto Executivo – Folha 01/01-R01 com a planta de escavação da barragem, da tomada d’água e do sangradouro e o perfil longitudinal “A”.



- O segundo ponto é que a interseção do contato entre o conglomerado e o arenito com o terreno natural mostrada na linha azul da figura 7 sugere que este contato se dê ao longo de um plano subhorizontal, conforme já mencionado anteriormente.

O desenho C fornece as seguintes informações:

- A barragem será fundada, em toda sua área de implantação, na sequência sedimentar da bacia do Jatobá;
- As camadas, com estratificação subhorizontal, mergulham, ao longo do eixo, da ombreira esquerda para a ombreira direita, com declividade que varia entre 5º e 15º;
- O perfil geológico-geotécnico indica a existência de uma camada superior de conglomerado, incoerente constituído por blocos de arenito, gnaiss, granito e quartzo esparsos em matriz de areia fina e média argilosa, na ombreira direita, sobreposta a um horizonte de arenito com intercalações de argilito podendo se observar que o contato entre estas duas camadas apresenta inclinação superior a 13,3º e
- O pacote de arenito apresenta-se decomposto (solo de alteração, na forma de areia fina siltosa, até em torno de 8 metros de profundidade, passando, a seguir, para arenito incoerente a pouco coerente);
- O nível d'água, se encontra bastante profundo nos furos da margem direita e não foi detectado (todos os furos estão secos) em nenhum dos furos da margem esquerda, com uma única exceção constituída pela sondagem SME-03MAN que indica o N.A em torno de 2 metros de profundidade, sendo que este dado não parece merecer confiança por ser por demais incongruente com todos os demais dados;
- Por consequência desta posição muito profunda do nível d'água, certamente o solo da fundação apresenta os mesmos teores de umidade natural muito baixos (alguns porcentos) encontrados nos solos das áreas de empréstimos pesquisados.

As fotos 3 e 4, a seguir mostram duas vistas da área desmatada ao longo do eixo da barragem, podendo se observar claramente a areia fina siltosa de baixo teor de umidade que ocorre na superfície.





**FOTO 3**



**FOTO 4**

Conclui-se, finalmente, que a seção geológico-geotécnica longitudinal pelo eixo da barragem tal como reinterpretada e apresentada no desenho 001 é totalmente condizente com todas as informações disponíveis, desde a descrição da geologia regional, passando pela descrição geológico-geotécnica dos pontos visitados ao longo do empreendimento, pelo mapeamento geológico de superfície local e pelas observações visuais nos cortes até os perfis individuais de sondagens.

#### 4.2 SEÇÃO GEOLÓGICO GEOTÉCNICA PELO EIXO DA DESCARGA DE FUNDO

No projeto básico, a descarga de fundo tinha sua localização especificada na estaca 58+0,00m. Em reunião realizada com os Eng<sup>os</sup> Rômulo Macedo e Fernando Marinho no dia 19 de maio de 2009 para tomar conhecimento do projeto, observamos que não tinha sido feita nenhuma sondagem no local da descarga de fundo e que as duas sondagens mais próximas eram SR-32, na estaca 62+10,64m, ou seja, a 90,64m do local da estrutura e SP-61, na estaca 49+9,41m, ou seja, afastada 170,59m do local.

Nesta situação, não havia, com base nos dados disponíveis, como garantir a não ocorrência de argilito debaixo da descarga de fundo. Considerando que se deveria tomar todas as providências necessárias para evitar a presença de solos expansivos debaixo da estrutura, recomendamos a execução de 3 sondagens na estaca 58+0,00m, sendo uma 40m a montante do eixo da barragem, uma no eixo e uma 40m a jusante do eixo da barragem, para subsidiar a tomada de decisão final a respeito da localização da descarga de fundo a saber:

- Mantê-la na estaca 58+0,00m no caso das três sondagens indicarem a ausência de ocorrência de argilito/material potencialmente expansivo;
- ou, em caso contrário, deslocá-la para um local garantidamente livre de argilito/material potencialmente expansivo na fundação.

As três sondagens foram executadas. São elas SME-06MAN, SME-07MAN e SME-08MAN e seus perfis constam do Desenho 1230-DEP-2106-04-02-001 (Folha 02/02): *“Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Trecho V. Eixo Leste – Lote C – Projeto Executivo – Barragem Mandantes – Seção Geológico – Geotécnica Transversal 58”*.

O quadro 6, a seguir, indica para estas três sondagens suas localizações (distâncias em relação ao eixo da barragem) e as cotas da boca que constam dos boletins e do desenho da seção geológico-geotécnica pela estaca 58 (Documento B6).

**QUADRO 6**

SONDAGEM	DISTÂNCIA DO EIXO DA BARRAGEM	COTA DA BOCA	
		NO BOLETIM	NA SEÇÃO
SME-06MAN	40,00m a montante	Não consta	391,875m
SME-07MAN	0,00m	Não consta	394,503m
SME-08MAN	40,00m a jusante	Não consta	394,656m

O desenho 002 apresenta a “Seção geológico-geotécnica pelo eixo da descarga de fundo”. Observa-se naquela seção que as três sondagens executadas ao longo do eixo da

estrutura, 40m a montante, no eixo da barragem e 40m a jusante da barragem, são bastante parecidas e definem quatro camadas sub-horizontais caindo levemente para montante (o caimento para montante está bem ilustrado pela linha do impenetrável a percussão apresentada no desenho 002) que estão descritas a seguir:

- **Camada 1:** camada superficial de colúvio (areia fina siltosa), do nível do terreno natural até 1,0 a 1,5m de profundidade (cota entre 390,9m e 393,5m) com SPT de 7 a 12 e permeabilidade de 2 a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s;
- **Camada 2:** camada subjacente ao colúvio, que se estende até 6 a 8 metros de profundidade (cota entre 385,9m e 388,0m), constituída por solo de alteração de arenito (areia fina a média siltosa), medianamente compacta a compacta, com SPT variando de 9 a mais de 30 golpes e permeabilidade de  $7 \times 10^{-6}$  a  $2 \times 10^{-5}$  cm/s;
- **Camada 3:** camada de arenito C4/C3, incoerente a pouco coerente, até 20 a 23m de profundidade (cota entre 370,9m e 374,5m) com permeabilidade de  $3 \times 10^{-6}$  a  $4 \times 10^{-5}$  cm/s e
- **Camada 4:** camada de arenito C3/C2, pouco coerente a coerente com permeabilidade de  $2 \times 10^{-6}$  a  $3 \times 10^{-5}$  cm/s.

Conclui-se que não há ocorrência de argilito/material potencialmente expansivo na estaca 58+0,00m e que o eixo da descarga de fundo ficará localizado nesta estaca.

#### 4.3 CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO DO SANGRA DOURO E DO CANAL DE DESCARGA

A figura 8, a seguir, mostra a planta de escavação do sangradouro com a locação das sondagens executadas na ombreira esquerda.

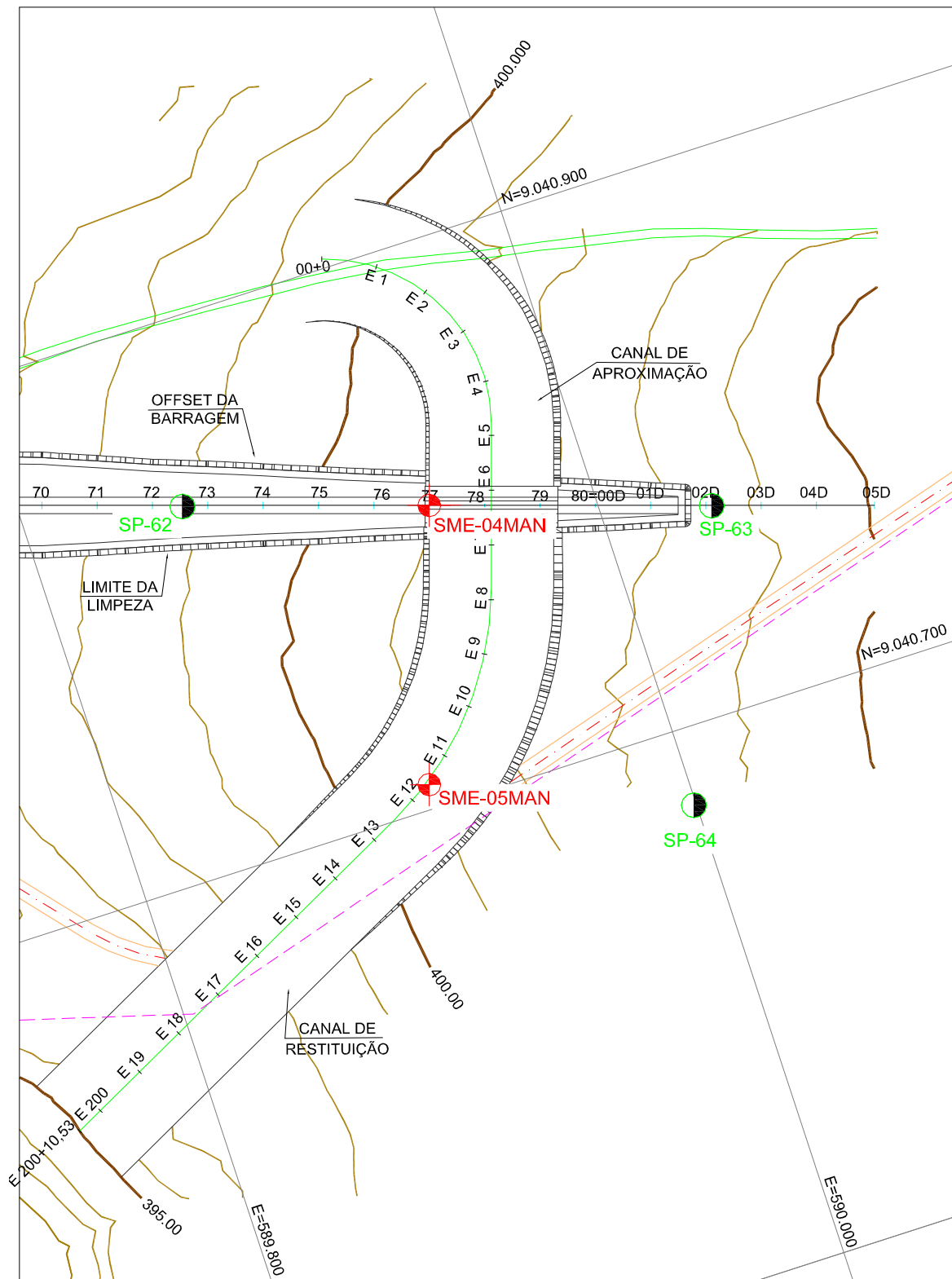


FIGURA 8



No desenho 001, observa-se na sondagem SME-04MAN a seguinte sequência de camadas na fundação:

- Areia fina e média, pouco siltosa, fofa, vermelha, com SPT igual a 3, até 0,84m de profundidade;
- Areia fina com pouca areia, média siltosa, pouco a medianamente compacta, cinza clara, com SPT de 8 a 12, até 4,60m de profundidade;
- Areia fina e média, siltosa, pouco compacta a medianamente compacta, cinza claro, com SPT de 6 a 14, presente até o limite da sondagem a 6,45m de profundidade.

Como se observa na seção geológico-geotécnica do desenho 001, no local do eixo da barragem, espera-se, logo abaixo desta última camada, em torno de 7,50m de profundidade, uma camada de argila pouco arenosa (argilito). Na visita ao local da barragem, nos foi mostrada uma amostra de argilito pertencente à uma das sondagens executadas a jusante do sangradouro, a saber a sondagem SME-05MAN. Apesar de, estranhamente, não haver menção de ocorrência de argilito no perfil individual do furo SME-05MAN, a existência deste testemunho de sondagem é de conhecimento de todos e vem confirmar o perfil geológico-geotécnico longitudinal pelo eixo da barragem apresentada no desenho 001.

Conclui-se, portanto, que debaixo da estrutura do sangradouro e debaixo do canal de descarga, encontra-se um horizonte de argilito poucos metros abaixo da cota de fundação, sendo menos profundo do lado hidráulico esquerdo que do lado direito.

#### 4.4 ENSAIOS “IN-SITU”

Os ensaios “in-situ” disponíveis são ensaios de permeabilidade e ensaios de perda d’água. Os resultados destes ensaios, em termos de coeficiente de permeabilidade expresso em cm/s, estão indicados nos desenhos 001 “*Seção geológico-geotécnica longitudinal pelo eixo da barragem*” e 002 “*Seção geológico-geotécnica pelo eixo da descarga de fundo*”.

Os coeficientes de permeabilidade medidos em ensaios de permeabilidade “in-situ” (ensaios de infiltração) estão indicados em letra preta com o valor medido indicado associado ao trecho ensaiado.

Os coeficientes de permeabilidade equivalente calculados a partir das absorções específicas medidas em ensaios de perda d’água estão indicados em letra vermelha com os cinco valores relativos aos cinco estágios do ensaio associados a cada trecho ensaiado.

Observa-se que os valores medidos variam na faixa de 10-4cm/s a 10-6cm/s sendo os valores maiores encontrados próximo à superfície com a tendência a decrescer com a profundidade.

## 4.5 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

### 4.5.1 Considerações Iniciais

Consta do item 3.6 “Ensaio de laboratório” do documento A.1 “Relatório EN.B/V.RF.GL.0001 Revisão 0/C Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Leste R9 – Geologia e Geotecnia”. “Por fim, foram realizados ensaios de laboratório sobre materiais naturais de construção para a caracterização geológica através de análise petrográfica e geotécnica de solos e de materiais granulares. Os ensaios realizados e suas quantidades são apresentados no Quadro 3.2, sendo os resultados apresentados no Anexo IV – Ensaio de Laboratório e os seus comentários desenvolvidos no item 7 – Materiais Naturais de Construção”.

O “Quadro 3.2” mencionado acima está transcrito como quadro 7, a seguir:

#### QUADRO 7

##### Resumo dos Ensaio Laboratoriais Realizados

ENSAIO	QUANTIDADE
Umidade Natural (solo)	172
Caracterização (solo)	73
Compactação (solo)	59
Permeabilidade (solo)	25
Triaxiais (solo com CP's moldados)	15
Densidade dos grãos (solo)	8
Granulometria (areia)	26
Permeabilidade (areia)	10
Índices de vazios – Max e min. (areia)	10
Pressão de Expansão (fundações)	5
Triaxiais (fundações)	10

O item 9.1 “Ensaio realizados” do mesmo documento indica:

*“Foram programados e realizados ensaios geotécnicos de laboratório com finalidade de proceder à caracterização dos materiais e obtenção das características de permeabilidade, resistência e deformabilidade dos solos de empréstimo e fundação das barragens e canais, bem como das jazidas de areia das barragens, que serão construídas no trecho V da Transposição de Águas do Rio São Francisco. Foram também realizados ensaios de expansão visando à obtenção da deformação e pressão de expansão em amostras da EBV-3.*

*Nos materiais de empréstimo de solo argiloso foram realizados ensaios de caracterização (granulometria por peneiramento e sedimentação, limites de Atterberg e densidade real dos grãos), compactação e determinação da umidade natural em amostras deformadas.*

*Foram realizados ensaios de permeabilidade em permeâmetro de carga variável e*

*ensaios triaxiais rápidos saturados por contrapressão em corpos de prova moldados com grau de compactação de 95% e umidade ótima do ensaio de compactação Proctor Normal visando à obtenção de parâmetros para realização das análises de percolação e estabilidade das barragens.*

*Nas Especificações de compactação das barragens o grau de compactação médio solicitado é de 98%, sendo tolerado 2% dos valores inferiores a 95%. Assim, os ensaios foram realizados com corpos de prova moldados junto ao limite inferior admissível para obtenção de parâmetros a favor de segurança.*

*Na fundação das barragens foram coletados blocos indeformados para a talhagem de corpos de prova para realização de ensaios de permeabilidade em permeâmetro de carga variável, e triaxiais adensados rápidos saturados para obtenção dos parâmetros de permeabilidade e resistência dos solos da fundação.*

*Os materiais coletados nas jazidas de areia foram submetidos a análise granulométrica por peneiramento, densidade máxima e mínima e ensaio de permeabilidade a carga constante.*

*Os ensaios de expansão foram realizados a volume constante e volume variável em testemunhos de sondagem e em bloco indeformado coletado na EBV-3.”*

No item 9.2 “Áreas de empréstimo de solo e fundação das barragens”, no sub-item 9.2.3 “Barragem Mandantes” do mesmo documento A1, constam resultados de determinação de umidade natural, granulometria, limites, compactação Proctor, permeabilidade e triaxiais em amostras de solo de áreas de empréstimos e de permeabilidade e triaxial em um bloco indeformado constituído por solo de alteração.

O item 9.4 do documento A1 relativo a “Ensaio de expansão” será tratado adiante no item 4.5.3 deste relatório “Ensaio de adensamento em solos expansivos” após o item 4.5.2 a seguir que trata de “Ensaio de adensamento em solos colapsíveis”.

#### **4.5.2 Ensaio de Adensamento em Solos Colapsíveis**

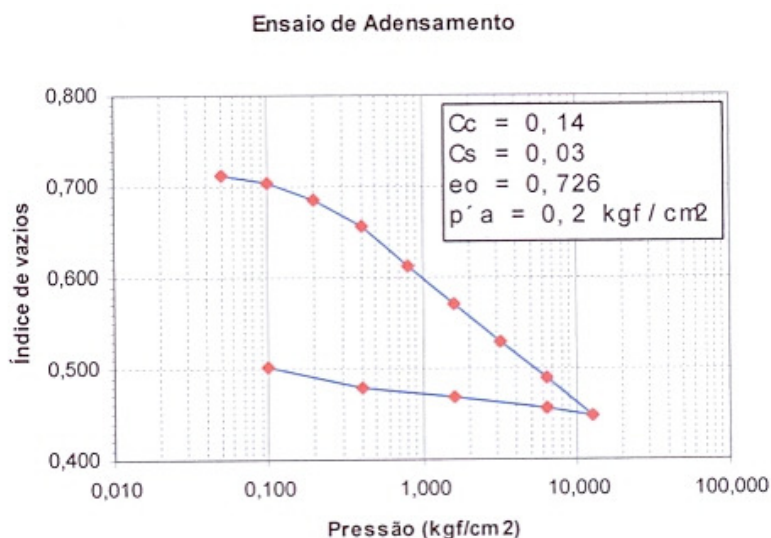
**ENSAIO C1** - O “Relatório dos serviços geotécnicos da barragem Mandantes: Relatório provisório (parcial) para consulta – Recife-PE” elaborado pelo Consórcio TECHNE – PROJETEC - BRLi em Janeiro 2009 com o objetivo de apresentar os estudos geotécnicos e geológicos consolidados, empreendidos na fase de elaboração do Projeto Executivo, relativos à Barragem Mandantes (Documento B1) mostra um quadro (quadro III) pertencente ao Certificado Nº 664/2008 do Laboratório de solos e instrumentação da UFPE, com os resultados de um ensaio de adensamento em um bloco indeformado da fundação da barragem Mandantes, conforme reproduzido no quadro 8 a seguir:

## QUADRO 8

### Ensaio de Adensamento

BARRAGEM	ÍNDICE DE VAZIOS INICIAL (eo)	ÍNDICE DE COMPRESSÃO (Cc)	ÍNDICE DE RECOMPRESSÃO (Cs)	TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO (P'a) (kgf/cm <sup>2</sup> )
Mandantes (Bloco indef. – fundação da barragem)	0,726	0,14	0,03	0,2

A figura 2 do mesmo certificado, a seguir reproduzida como figura 9, mostra o gráfico deste ensaio indicando que a amostra ensaiada pertence a um bloco indeformado extraído na estaca 44+10 no eixo da barragem Mandantes:

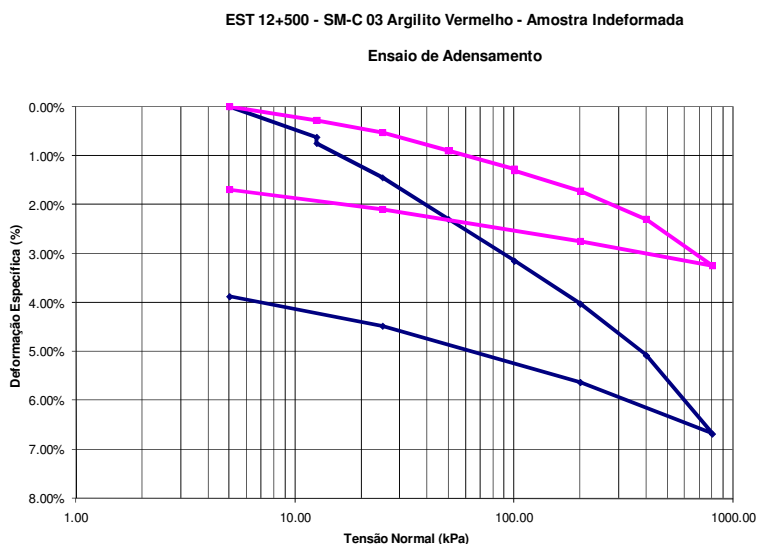


### Ensaio de adensamento – Barragem Mandantes – Estaca 44+10 – Eixo – Bloco indeformado – fundação da barragem

#### FIGURA 9

O texto do relatório informa que o “ensaio foi realizado de acordo com a metodologia da NBR-12007 – Ensaios Oedométricos da ABNT”, o que significa que a amostra foi inundada antes do início do ensaio, resultando num ensaio comum que fornece os parâmetros de compressibilidade unidimensional do material mas não fornece nenhuma informação a respeito de colapso e/ou expansão.

**ENSAIOS C2** - O mesmo relatório mostra dois gráficos de ensaios de adensamento realizados no Laboratório de Mecânica dos solos da UFRN em uma amostra identificada como: “Est. 12+500 – SM-C-03 – Argilito vermelho – Amostra indeformada” com dois ensaios, sendo um no qual a amostra foi inundada debaixo de 12,5kPa e o outro no qual a amostra foi inundada debaixo de 100kPa. As curvas tensão vs deformação específica destes dois ensaios estão reproduzidas na figura 10, a seguir:



**FIGURA 10**

Observa-se na figura acima que a amostra sofreu um colapso muito pequeno quando inundada debaixo de 12,5 kPa (em torno de 0,2%) e praticamente não sofreu nenhum colapso quando inundada debaixo de 100 kPa.

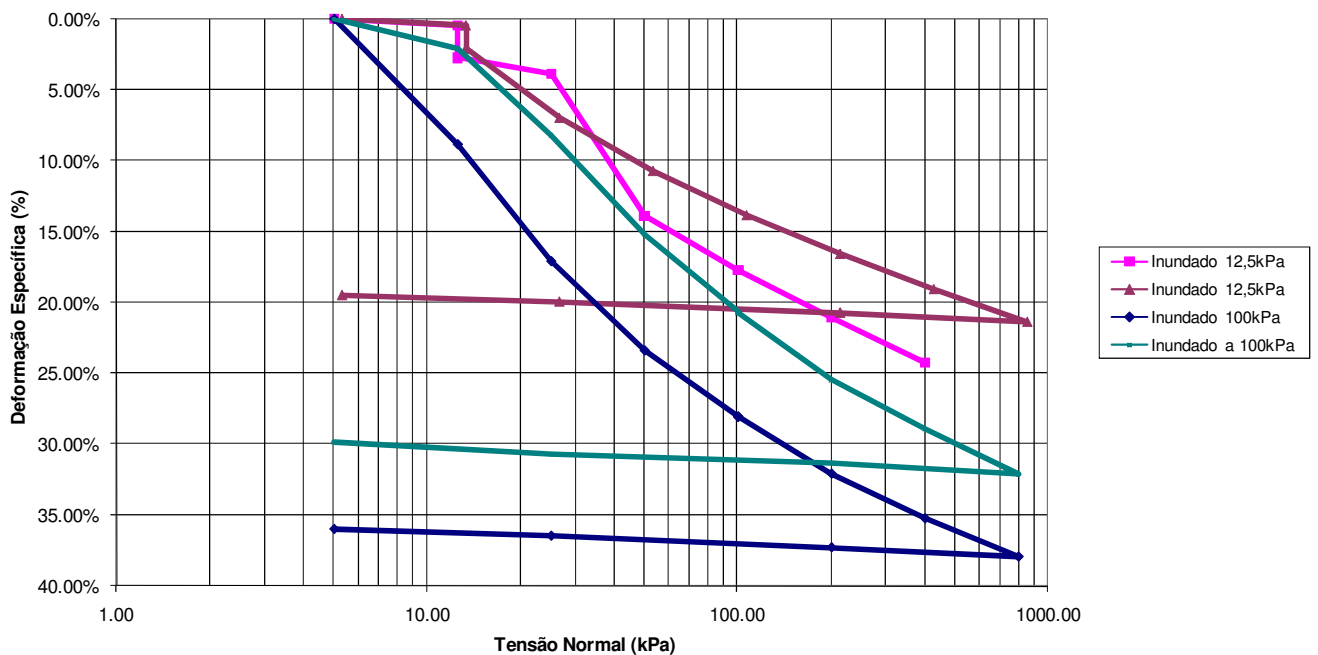
Estranha-se, entretanto, que esta amostra descrita como “Argilito” tenha sofrido algum colapso por conta da inundação enquanto seria de esperar que sofresse alguma expansão.

Consta do mesmo relatório um terceiro ensaio de adensamento, também realizado no Laboratório de Mecânica dos solos da UFRN em uma amostra identificada como: “Est. 12+500 – SM-C-03 – Argilito marrom escuro – Amostra indeformada” aparentemente extraída do mesmo bloco indeformado que as duas amostras dos ensaios da figura 10. Neste ensaio a amostra foi inundada debaixo de 100kPa. Uma vez que a inundação resultou na expansão da amostra, este ensaio será discutido adiante no item 4.5.3 “Ensaio de adensamento em solos expansivos”.

**ENSAIOS C3** - No mesmo relatório consta uma série de quatro ensaios de adensamento, também realizado no Laboratório de Mecânica dos solos da UFRN em uma amostra identificada como: “Est. 18+10 – Mandantes – Amostra indeformada” sendo dois ensaios com inundação debaixo de 12,5kPa e dois ensaios com inundação debaixo de 100kPa. As curvas tensão vs deformação específica destes quatro ensaios estão reproduzidas na figura 11, a seguir:

# EST 18+10 - Mandantes - Amostra Indeformada

## Ensaio de Adensamento



**FIGURA 11**

Observa-se na figura acima que as amostras sofreram um colapso pequeno quando inundadas debaixo de 12,5 kPa (em torno de 2,5%) e praticamente não sofreram nenhum colapso quando inundadas debaixo de 100 kPa.

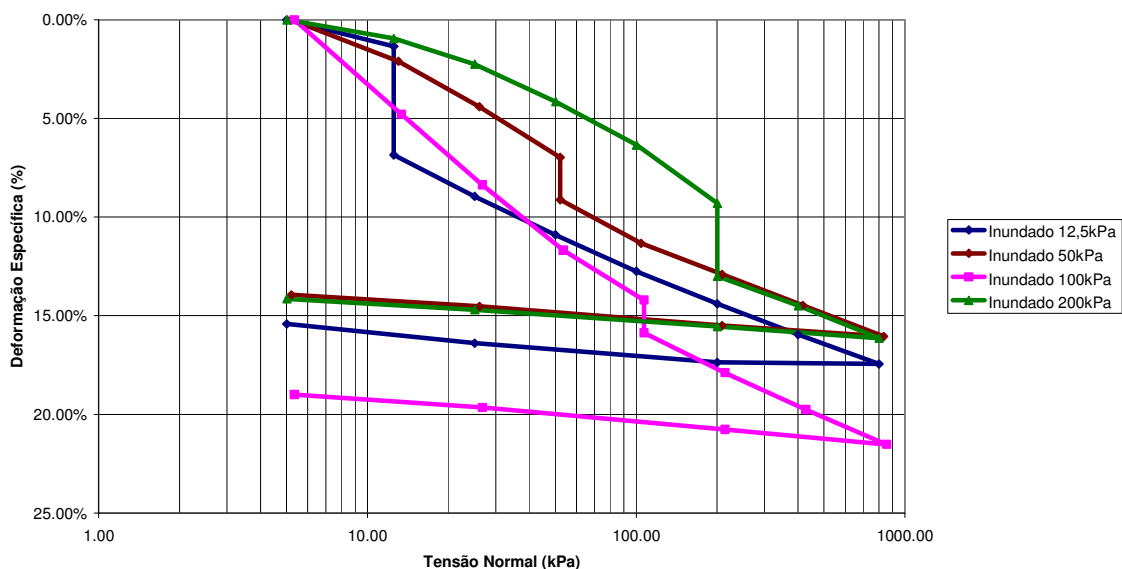
**ENSAIOS C4** - O Relatório nº 01-11-09 do Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte intitulado “Ensaio de oedométrico de solo da barragem Mandantes – Ombreira esquerda” apresenta 4 ensaios edométricos com inundações a 12,5kPa, 50kPa, 100kPa e 200kPa de uma amostra indeformada de bloco retirada na estaca 65 da barragem Mandantes a 1,50m de profundidade. O relatório não fornece nenhuma descrição tátil visual nem ensaio de caracterização desta amostra.

O quadro 9, a seguir, mostra as deformações medidas devidas à inundação das amostras:

**QUADRO 9**

ENSAIO	ÍNDICE DE VAZIOS INICIAL	TENSÃO DE INUNDAÇÃO (kPa)	COLAPSO OU EXPANSÃO	DEFORMAÇÃO (%)
1	0,75	12,5	Colapso	5,50
2	0,84	50,0	Colapso	2,15
3	0,87	100,0	Colapso	1,66
4	0,82	200,0	Colapso	3,70

A figura 12, a seguir, apresenta os gráficos de deformação dos 4 ensaios de adensamento:



**FIGURA 12**

Trata-se de um solo bastante colapsível com deformação na faixa de 2 a 5% quando inundado debaixo de 12,5 a 200kPa.

#### 4.5.3 Ensaios de Adensamento em Solos Expansivos

Consta do item 9.4 “Ensaios de expansão” do documento A1 “Relatório EN.B/V.RF.GL.0001 Revisão 0/C Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico – Trecho V – Eixo Leste R9 – Geologia e Geotecnia” o texto transcrito a seguir:

*“Para determinação das pressões e deformações de expansão foram realizados dois tipos de ensaio a volume constante e volume variável.*

*O ensaio a volume constante consiste em inundar o corpo de prova e aplicar simultaneamente o carregamento, impedindo a expansão e mantendo-o com a mesma altura inicial.*

*O ensaio a volume variável consiste em aplicar uma baixa pressão sobre o corpo de prova, aguardar a estabilização das deformações, após o que é feita a inundação deste. As deformações decorrentes da expansão são observadas até sua estabilização. A partir daí é feito o carregamento do corpo de prova até uma pressão tal que o c.p. retorne a altura inicial, antes da inundação, sendo esta por definição a pressão de expansão. A partir daí, o carregamento prosseguiu em estágios, efetuando-se posteriormente o descarregamento do corpo de prova.*

*O ensaio realizado desta forma atende às recomendações do Método A da ASTM D4546-90 “Standard Methods for One Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils”.*



**ENSAIOS E1** – O item 9.4 acima citado indica: “Foram realizados 4 ensaios a volume constante com corpos de prova talhados a partir de testemunhos das sondagens SR-37, SR-39 e SRC-01. Três ensaios apresentaram valores da pressão da expansão de 1,55 a 2,87 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo que um ensaio apresentou um resultado com ordem de grandeza discrepante em relação aos demais, com valor de 17,10 kgf/cm<sup>2</sup>.”

O quadro 10, a seguir, mostra os dados dos 4 ensaios:

**QUADRO 10**

Local	Amostra	Prof. (m)	$\gamma_{nat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$h_{nat}$ (%)	Tipo de ensaio	Deformação de expansão (%)	Pressão de expansão (kgf/cm <sup>2</sup> )
EBV-3	SR-37	28,45-29,95	2,27	5,7	V. constante	-	2,87
EBV-3	SR-37	32,00-32,65	2,23	4,6	V. constante	-	17,10
EBV-3	SR-39	27,66-36,10	2,34	9,8	V. constante	-	1,80
EBV-3	SRC-01	7,90 a 8,10	2,12	11,56	V. constante	-	1,55

No “Relatório dos Serviços Geológicos - Geotécnicos da Barragem Mandantes, Nº 1230-REL-2106-04-02-001, elaborado pelo Consórcio TECHNE – PROJETEC - BRLi: consta o relatório técnico IPT nº 48 369 apresentando “*Ensaio para determinação da pressão de expansão a volume constante em duas amostras indeformadas de solos*” com os seguintes dizeres:

**“Talhagem:** Cada corpo de prova foi talhado no interior de um anel metálico indeformável, com aproximadamente 5,0cm de diâmetro e 2,6cm de altura, tendo as aparas resultantes da talhagem sido utilizadas para a determinação da umidade inicial. Pesando-se o corpo de prova assim obtido, pode ser determinada a sua massa específica aparente natural.

**Inundação e Carregamento:** Após a talhagem, cada conjunto corpo de prova – anel metálico foi instalado em prensa de carregamento com base deslocável, e inundado de água. O topo do corpo de prova reagia contra um anel dinamométrico que media continuamente o esforço vertical necessário para manter a altura do corpo de prova constante. A altura do corpo de prova era medida continuamente por meio de defletômetro com precisão de centésimo de milímetro, e mantida constante por acionamento manual de base deslocável. O esforço no topo do corpo de prova aumentava progressivamente até um valor máximo considerado como sendo a pressão de expansão do corpo de prova.

Não existindo mais tendência a expansão, cada corpo de prova foi carregado em estágios de tensão, até uma tensão máxima de 2000kPa (amostra 2) ou 2500kPa (amostra 3). A seguir foi feito o descarregamento do corpo de prova, também em estágios de tensão”.

O quadro 11, a seguir, mostra os resultados dos ensaios de pressão de expansão:



**QUADRO 11**  
**RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PRESSÃO DE EXPANSÃO**

Nº IPT	AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	ENSAIO DE PRESSÃO DE EXPANSÃO		
			$\gamma_{nat}$ (kg/m <sup>3</sup> )	h (%)	PRESSÃO DE EXPANSÃO (kPa)
11699	2	SR-37	2273	5,7	287
11700	3	SR-37	2227	4,6	1710

E pode-se verificar que estes ensaios são os mesmos que os dois primeiros do quadro 10.

**ENSAIOS E2** – O item 9.4 acima citado indica, também: “Foram realizados 2 ensaios a volume variável em corpos de prova obtidos a partir de testemunhos de sondagem e 2 ensaios em corpos de prova talhados a partir de amostra indeformada de solo da EBV-3. As deformações provocadas pela inundação foram baixas variando de 0,06 a 0,85% e as pressões de expansão também foram baixas variando de 0,08 a 0,50 kgf/cm<sup>2</sup>.”

O quadro 12, a seguir, mostra os dados dos ensaios:

**QUADRO 12**

LOCAL	AMOSTRA	PROF. (m)	$\gamma_{nat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$h_{nat}$ (%)	TIPO DE ENSAIO	DEFORMAÇÃO DE EXPANSÃO (%)	PRESSÃO DE EXPANSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )
EBV-3	SR-39	27,66- 36,10	2,28	8,5	V. variável	0,85	0,50
EBV-3	SRC-01	7,90 a 8,10	2,11	11,13	V. variável	0,06	0,08
EBV-3		0,00-0,30	1,833	11,9	V. variável	0,52	0,33
EBV-3		0,00-0,30	1,857	11,6	V. variável	0,62	0,33

No “Relatório dos Serviços Geológicos - Geotécnicos- da Barragem Mandantes”, Nº 1230-REL-2106-04-02-001, elaborado pelo Consórcio TECHNE – PROJETEC – BRLi, consta o relatório técnico IPT nº 48 369 apresentando “Ensaio para determinação da pressão de expansão a volume constante em duas amostras indeformadas de solos” com os seguintes dizeres:

*“Dois tipos de ensaios, denominados neste relatório de processos 1 (expansão livre) e 2 (volume constante), foram realizados em cada amostra, sendo que as metodologias utilizadas nesses ensaios correspondem aproximadamente aos métodos A e C da norma D 4546-90 da ASTM (One-dimensional swell or settlement potential of cohesive soils).*

**2. Determinação da pressão de expansão pelo processo 1**

*Inundação e Carregamento: Após a talhagem e montagem na prensa de ensaios de adensamento, cada corpo de prova foi carregado axialmente com uma tensão inicial de 5,8kPa e imediatamente inundado com água. Foram então feitas leituras, ao longo do tempo, da expansão do corpo de prova resultante da inundação.*

Ao se estabilizar a altura do corpo de prova, aplicou-se ao mesmo um carregamento axial em estágios, com duração de pelo menos 24 horas cada um. Atingida a tensão máxima de ensaios (2000kPa), procedeu-se ao descarregamento do corpo de prova, também em estágios.

A pressão de expansão, neste tipo de ensaio, foi considerada como sendo a tensão axial necessária para fazer o corpo de prova retornar à sua altura original, após a ocorrência da expansão.

### 3. Determinação da pressão de expansão pelo processo 2

*Inundação e Carregamento:* Após a talhagem, cada conjunto corpo de prova – anel metálico foi instalado em prensa de carregamento com base deslocável, e inundado de água. O topo do corpo de prova reagia contra um anel dinamométrico que media continuamente o esforço vertical necessário para manter a altura do corpo de prova constante. A altura do corpo de prova era monitorada continuamente por meio de um defletômetro com precisão de centésimo de milímetro, e mantida constante por acionamento manual da base deslocável. O esforço no topo do corpo aumentava progressivamente até um valor máximo considerado como sendo a pressão de expansão do corpo de prova.

Não existindo mais tendência a expansão, o corpo de prova foi carregado em estágios de tensão, até uma máxima de aproximadamente 2000kPa. A seguir foi feito o descarregamento do corpo de prova, também em estágios de tensão.”

Os quadros 13 e 14 a seguir, mostram os resultados dos ensaios:

#### QUADRO 13

##### RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS PELO PROCESSO 1

Nº IPT	FURO	AMOSTRA	PROF. (m)	$\gamma_{nat}$ (kg/m <sup>3</sup> )	h (%)	PRESSÃO DE EXPANSÃO (kPa)
11760	SR-39 EBV-03	01	-	2276	8,5	50
11761	SRC-01	-	7,90 a 8,10	2105	11,1	8

#### QUADRO 14

##### RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS PELO PROCESSO 2

Nº IPT	Furo	Amostra	Prof. (m)	$\gamma_{nat}$ (kg/m <sup>3</sup> )	h (%)	Pressão de expansão (kPa)
11760	SR-39 EBV-03	01	-	2337	9,8	180
11761	SRC-01	-	7,90 a 8,10	2118	11,6	155

Fica claro ao se observar o quadro 13 que estes ensaios são os mesmos que os dois primeiros do quadro 12, e fica claro ao se observar o quadro 14 que estes ensaios são os mesmos que os dois últimos do quadro 10.

No “Anexo IV-Ensaio de Laboratorio” do “-Relatório dos Serviços Geotécnicos-Geológico da Barragem Mandantes, Nº 1230- REL-2106-04-02-001, elaborado pelo Consórcio TECHNE – PROJETEC - BRLi:, consta um ensaio de “Pressão de Expansão”. Este ensaio é, na realidade, um “Ensaio de adensamento para determinação da pressão de expansão” cujo gráfico está reproduzido na figura 13, a seguir:

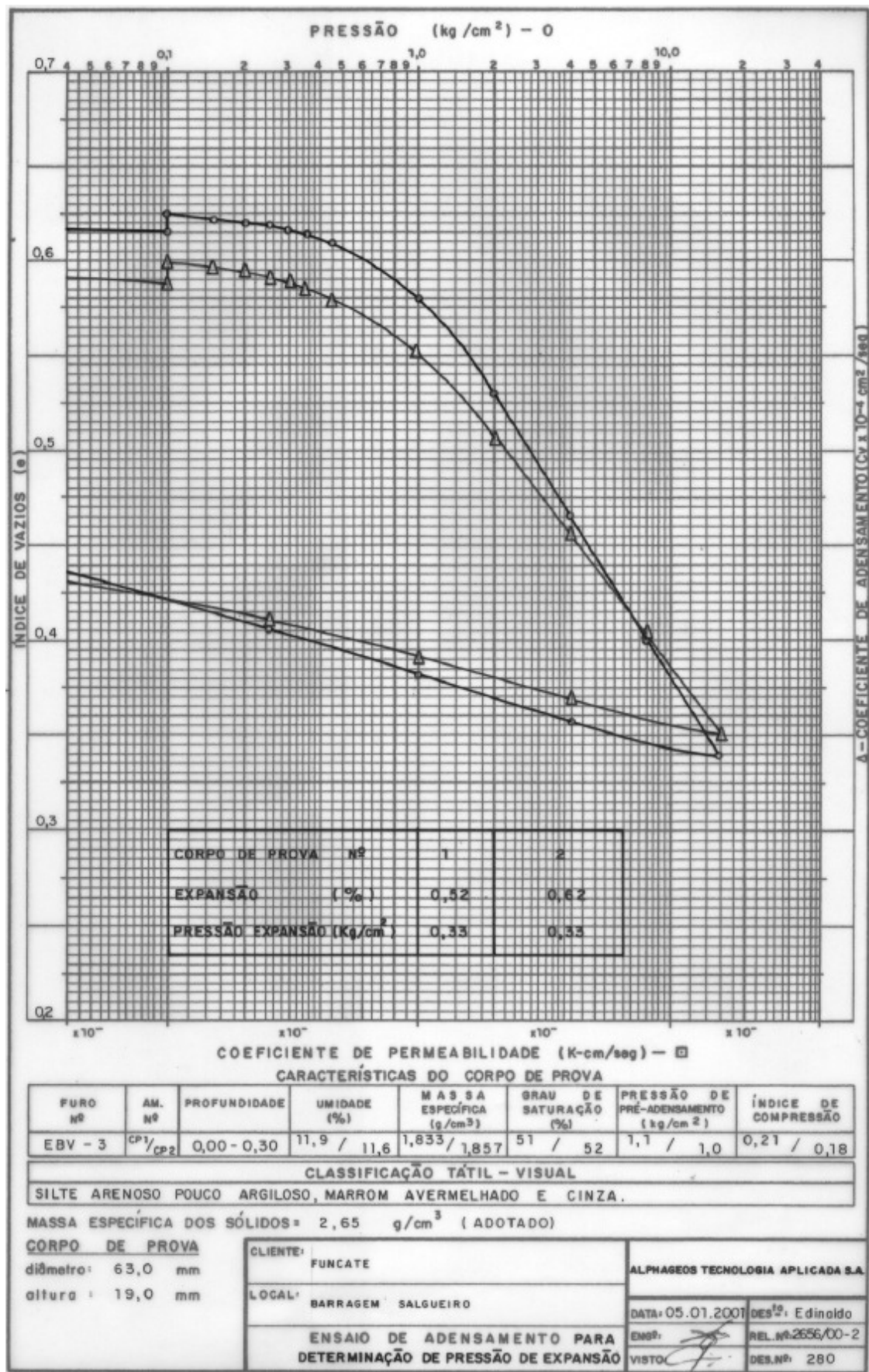


FIGURA 13

Conforme pode-se observar, o ensaio foi feito numa amostra de “Silte arenoso pouco argiloso” coletado de 0,00 a 0,30m no furo EBV-3 no local “Barragem Salgueiro”.

O quadro 15, a seguir, mostra os resultados dos ensaios cujos gráficos constam da figura 13 acima:

**QUADRO 15**

**ÍNDICE DE VAZIOS DAS AMOSTRAS, EXPANSÃO E PRESSÃO DE EXPANSÃO**

AMOSTRA	TENSÃO DE INUNDAÇÃO (kPa)	w <sub>0</sub> (%)	e <sub>0</sub>	DEFORMAÇÃO DE EXPANSÃO (%)	PRESSÃO DE EXPANSÃO (kPa)
1	10,0	11,9	0,62	0,52	33
2	10,0	11,6	0,59	0,62	33

Como se observa na figura 18, o que é chamado de pressão de expansão é a pressão atingida, na recompressão pós expansão, no momento no qual se compensa a expansão anteriormente ocorrida de forma livre debaixo da pressão aplicada no momento da saturação do corpo de prova, o que vem a ser a determinação da pressão de expansão pelo processo 1 conforme indicado pelo IPT.

Fica claro ao se observar o quadro 15 que estes ensaios são os mesmos que os dois últimos do quadro 12.

**ENSAIOS E3** – O “Relatório dos Serviços Geológicos - Geotécnicos da Barragem Mandantes, Nº 1230- REL-2106-04-02-001, elaborado pelo Consórcio TECHNE – PROJETEC – BRLi. Neste o (Documento B1) apresenta um ensaio de adensamento realizado no Laboratório de Mecânica dos solos da UFRN em uma amostra identificada como: “Est. 12+500 – SM-C-03 – Argilito marrom escuro – Amostra indeformada” aparentemente extraída do mesmo bloco indeformado que as duas amostras dos ensaios C2 da figura 10 conforme já mencionado no item 4.5.2.

A curva tensão vs deformação específica deste ensaio com inundação em 100kPa está reproduzida na figura 14, a seguir:

## Ensaio de Adensamento

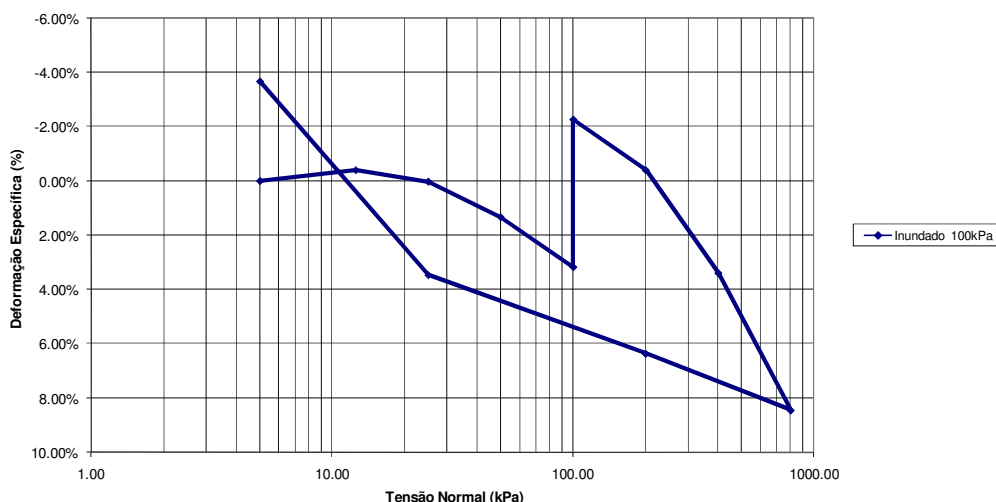


FIGURA 14

Este ensaio consta, também, do Relatório n° 02-11-09 do Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte intitulado **“Propriedades Geotécnicas do Argilito da Bacia do Jatobá”**, entretanto, neste Relatório, a curva acima é apresentada como pertencendo a uma amostra moldada a partir do testemunho da sondagem rotativa SME 02 na estaca 12+500 do canal.

Conforme se observa no gráfico da figura 14, a amostra sofreu pequena expansão entre o estágio de carga de 5kPa e o estágio de carga de 12,5kPa provavelmente devido a alguma molhagem da amostra. No momento da inundação debaixo de 100kPa, a amostra sofreu uma expansão de 5,43%, como indicado no quadro 16, a seguir.

QUADRO 16

## ÍNDICE DE VAZIOS DA AMOSTRA E EXPANSÃO

AMOSTRA	TENSÃO DE INUNDAÇÃO (kPa)	w <sub>0</sub> (%)	e <sub>0</sub>	DEFORMAÇÃO DE EXPANSÃO (%)
SME-02	100	9,36	0,58	5,43

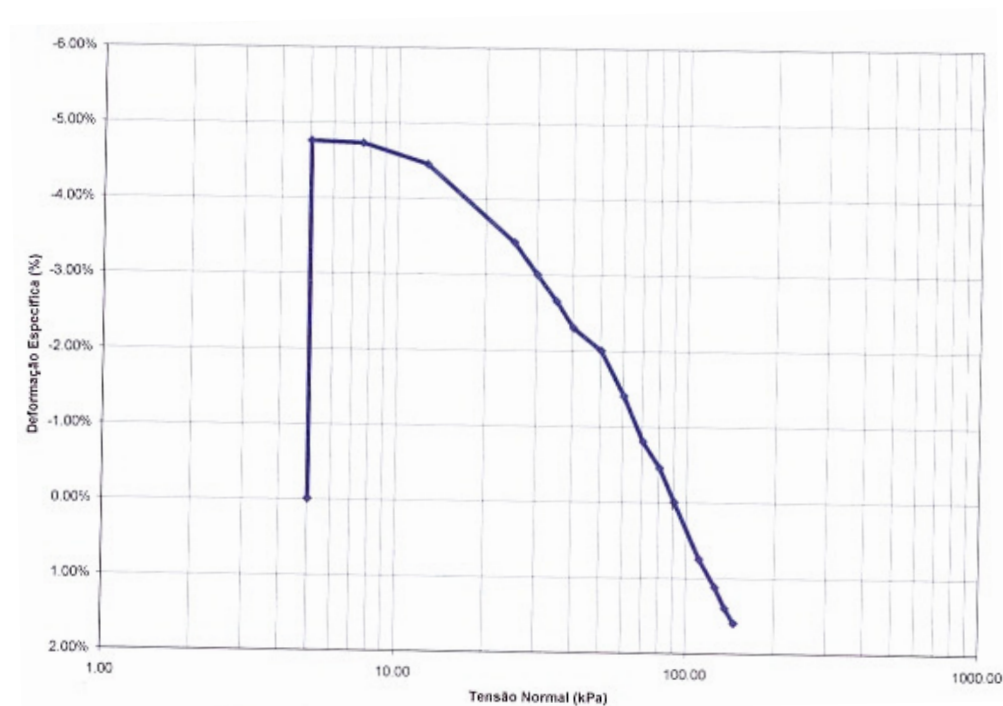
**ENSAIOS E4** - O Relatório n° 02-11-09 do Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte intitulado “Propriedades Geotécnicas do argilito da Bacia do Jatobá” apresenta, além do ensaio E3 já visto acima, os resultados de ensaios de expansão na compressão edométrica nas amostras compactadas a partir dos materiais escavados no local da EBV1 a seguir relacionadas:

- Amostra 1 - argila marrom da matriz do conglomerado (EBV1-1);
- Amostra 2 - camada de argila cinza escura intercalada no conglomerado (EBV1-2) e



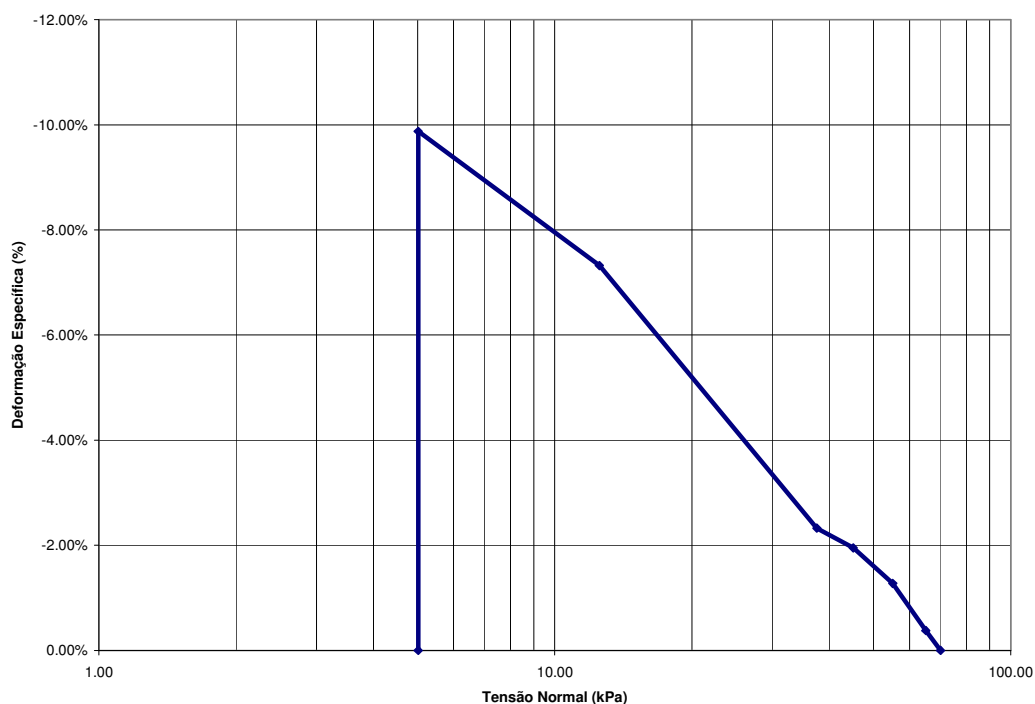
- Amostra 3 - camada de argila vermelha intercalada no conglomerado (EBV1-3).

A curva tensão vs deformação específica do ensaio da amostra 1 com inundação em 5kPa está reproduzida na figura 15, a seguir:



**FIGURA 15**

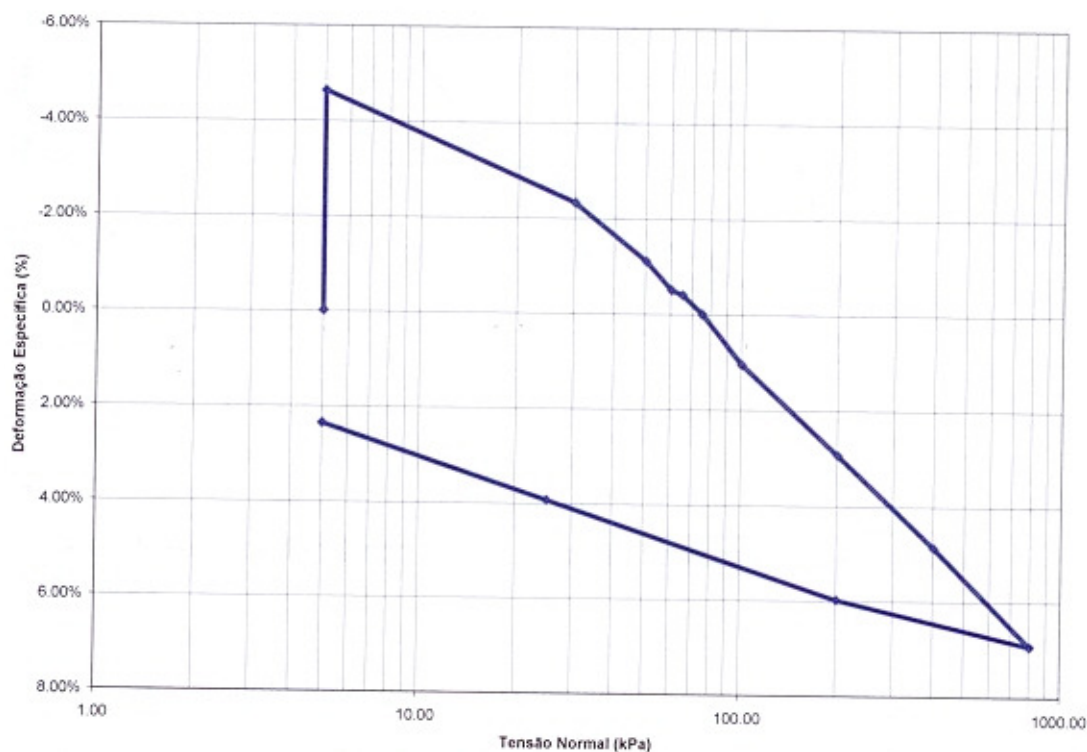
A curva tensão vs deformação específica do ensaio da amostra 2 com inundação em 5kPa está reproduzida na figura 16, a seguir:





**FIGURA 16**

A curva tensão vs deformação específica do ensaio da amostra 3 com inundação em 5kPa está reproduzida na figura 17, a seguir:



**FIGURA 17**

O quadro 17, a seguir apresenta os resultados dos três ensaios:

**QUADRO 17**

**ÍNDICE DE VAZIOS DAS AMOSTRAS, EXPANSÃO E PRESSÃO DE EXPANSÃO**

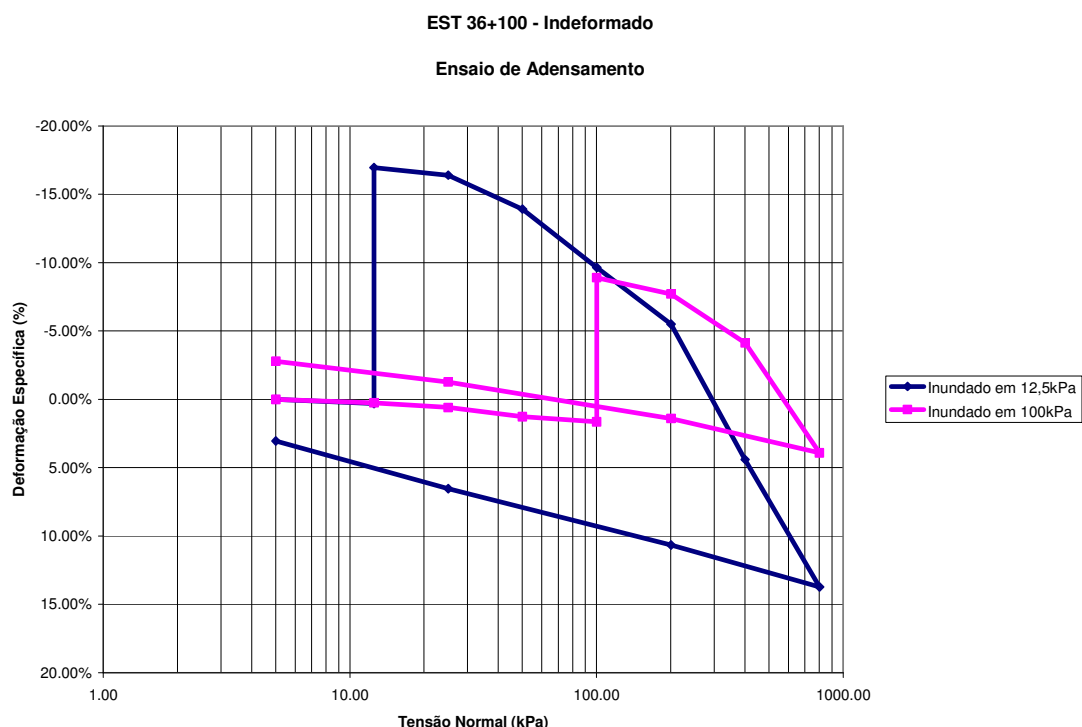
AMOSTRA	TENSÃO DE INUNDAÇÃO (kPa)	w <sub>0</sub> (%)	e <sub>0</sub>	DEFORMAÇÃO DE EXPANSÃO (%)	PRESSÃO DE EXPANSÃO (kPa)
EBV1-1	5,0	7,88	0,36	4,75	90
EBV1-2	5,0	40,40	1,16	9,88	70
EBV1-3	5,0	9,91	0,31	4,62	75

Conclui-se que se trata de material expansivo com expansão livre na faixa de 5 a 10% abaixo de 5kPa.

**ENSAIOS E5** - O Relatório nº 02-11-09 do Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte intitulado **“Propriedades Geotécnicas do argilito da Bacia do Jatobá”** apresenta, também, os resultados de ensaios de expansão na compressão edométrica nas amostras, a seguir relacionadas:

- Duas amostras indeformadas coletadas no afloramento de argilito na estaca 36+100;
- Argilito 1 e
- Argilito 2.

A figura 18, a seguir, mostra o resultado do ensaio realizado sobre as amostras argilito 1 e argilito 2:



**FIGURA 18**

**QUADRO 18**

### ÍNDICE DE VAZIOS DAS AMOSTRAS E EXPANSÃO

AMOSTRA	TENSÃO DE INUNDAÇÃO (kPa)	w <sub>0</sub> (%)	e <sub>0</sub>	DEFORMAÇÃO DE EXPANSÃO (%)
Argilito 1	12,5	10,51	0,39	17,25
Argilito 2	100	10,66	0,41	10,55

Observa-se que se trata de material bastante expansivo com mais de 10% de expansão livre debaixo de 100kPa e que o relatório não forneceu a pressão de expansão.

ENSAIOS E6 – No “Anexo X – Análise petrográfica com fotomicrografia” do “Relatório Geologia – Geotecnia” recebido em CD em 24 de novembro de 2009, constam as análises mineralógicas por difratometria de raios X de duas amostras identificadas com Am2 (SR-37) e Am3 (SR-37) cujos resultados estão apresentados no quadro 19 a seguir:

**QUADRO 19**

### ANÁLISE MINERALÓGICA POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

AMOSTRA	MINERAL	QUANTIDADES (%)
Am. 2 (SR 37) LPTR 530/00	Argilomineral do grupo das esmectitas Argilomineral do grupo da caulinita Argilomineral do grupo da illita	91 7 – 8 1 – 2
Am. 3 (SR 37) LPTR 531/00	Argilomineral do grupo das esmectitas Argilomineral do grupo da caulinita Argilomineral do grupo da illita	93 5 – 6 1 – 2

As esmectitas se constituem num grupo de minerais expansivos do qual faz parte, entre outros, a montmorilonita, mineral conhecido por ser altamente expansivo.

#### 4.5.4 Comentários Sobre os Resultados dos Ensaios de Adensamento em Solos Expansivos

O quadro 20, a seguir, sintetiza os dados e resultados dos ensaios:

**QUADRO 20**

Ensaio	Laboratório	Local	Amostra	Prof. (m)	$\gamma_{nat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_0$	$h_{nat}$ (%)	Tipo de ensaio	Def. de expansão (%) / Tensão (kPa) (5)	Pressão de expansão (kgf/cm <sup>2</sup> )	
										(1)	(2)
E1	IPT	EBV-3	SR-37	28,45-29,95	2,27		5,7	V. constante			2,87
		EBV-3	SR-37	32,00-32,65	2,23		4,6	V. constante			17,10
		EBV-3	SR-39	27,66-36,10	2,34		9,8	V. constante			1,80 (3)
		EBV-3	SRC-01	7,90 a 8,10	2,12		11,56	V. constante			1,55 (4)
E2	IPT	EBV-3	SR-39	27,66-36,10	2,28		8,5	V. variável	0,85/5,8	0,50 (3)	
		EBV-3	SRC-01	7,90 a 8,10	2,11		11,13	V. variável	0,06/5,8	0,08 (4)	
	ALPHA-GEOS	EBV-3		0,00-0,30	1,833		11,9	V. variável	0,52/10	0,33	
		EBV-3		0,00-0,30	1,857		11,6	V. variável	0,62/10	0,33	
E3	UFPE		SME-02			0,58	9,36	V. variável	5,43/100		
E4	UFRN		EBV1-1			0,36	7,88	V. variável	4,75/5	0,90	
			EBV1-2			1,16	40,40	V. variável	9,88/5	0,70	
			EBV1-3			0,31	9,91	V. variável	4,62/5	0,75	
E5	UFRN		Argilito 1			0,39	10,51	V. variável	17,25/12,5	Não fornecida	
			Argilito 2			0,41	10,66	V. variável	10,55/100	Não fornecida	

- I. Tensão axial necessária para fazer o corpo de prova retornar à sua altura original, após a ocorrência da expansão.
- II. Pressão aplicada pelo dinamômetro mantendo a altura do corpo de prova constante.

III. Corpos de prova extraídas da mesma amostra.

IV. Corpos de prova extraídas da mesma amostra.

V. Deformação de expansão livre debaixo da tensão axial aplicada no momento da inundação e mantida constante durante todo o processo de expansão.

Na reunião ocorrida no escritório da TECHNE em 24 de novembro de 2009, indagamos o Eng<sup>o</sup> Olavo Francisco dos Santos Júnior responsável pela execução dos ensaios da UFRN sobre a representatividade do valor de pressão de expansão considerado igual à tensão axial necessária para fazer o corpo de prova retornar à sua altura original, após a ocorrência da expansão.

Nosso entendimento é que a pressão de expansão é aquela que a amostra exerce contra o dispositivo que impede qualquer deformação durante a saturação e, pelo fato de todos os solos, principalmente acima da tensão de pré-adensamento, terem comportamentos muito diferentes no carregamento e no descarregamento, consideramos que as pressões determinadas nos ensaios a volume variável não são as pressões de expansão dos materiais ensaiados e, sim, as pressões necessárias à compensação da expansão, e que estas são duas coisas bastante diferentes.

As figuras 19 e 20, a seguir, mostram os resultados dos dois tipos de ensaios, a saber o ensaio a volume variável e o ensaio a volume constante, respectivamente, executados no laboratório do IPT, em dois corpos de prova extraídos da mesma amostra do furo SR-39.

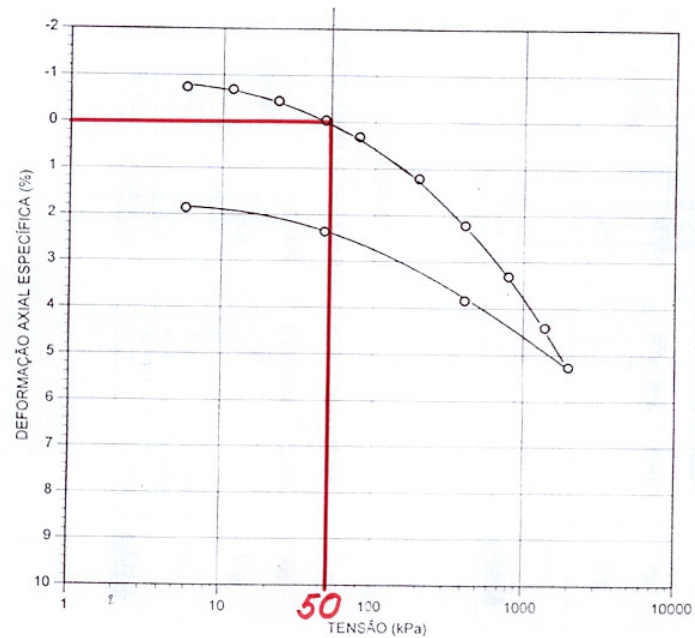
Como se pode observar, os resultados são totalmente diferentes com:

- Tensão axial necessária para fazer o corpo de prova retornar à sua altura original, após a ocorrência da expansão: ..... 50kPa;
- Pressão aplicada pelo dinamômetro mantendo a altura do corpo de prova constante: ..... 180kPa.

As figuras 21 e 22, mostram os resultados dos dois tipos de ensaios, a saber o ensaio a volume variável e o ensaio a volume constante, respectivamente, executados no laboratório do IPT, em dois corpos de prova extraídos da mesma amostra do furo SRC-01.

Como se pode observar, os resultados são totalmente diferentes com:

- Tensão axial necessária para fazer o corpo de prova retornar à sua altura original, após a ocorrência da expansão ..... 8kPa;
- Pressão aplicada pelo dinamômetro mantendo a altura do corpo de prova constante ..... 155kPa.

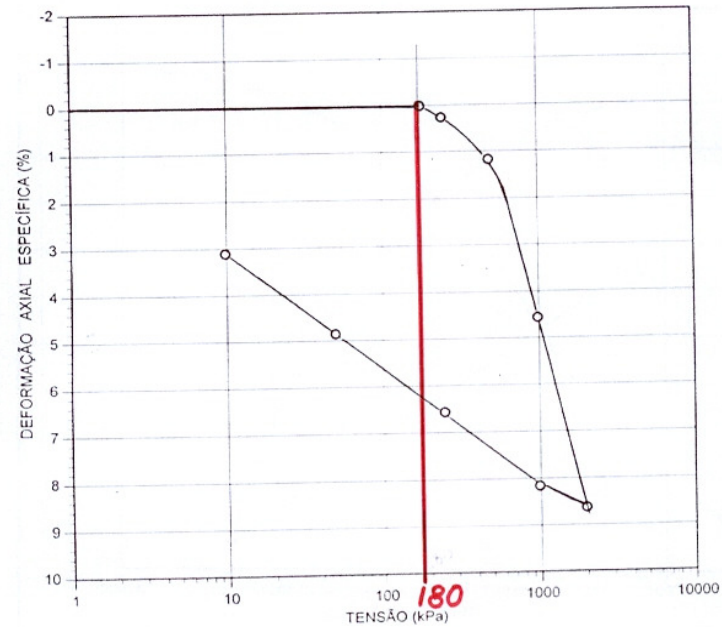


ENSAIO REALIZADO PELO  
PROCESSO 1

Nº IPT: 11760  
FURO: SR-39 EBV-03

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - I.P.T. DEC. - AGRUP. DE MEC. SOLOS E FUNDAÇÕES			
Data: 19/12/2000	Engº <i>Amey</i>	A.M.S.F.	
Des.			
Alphageos		1-RT49 476	

FIGURA 19

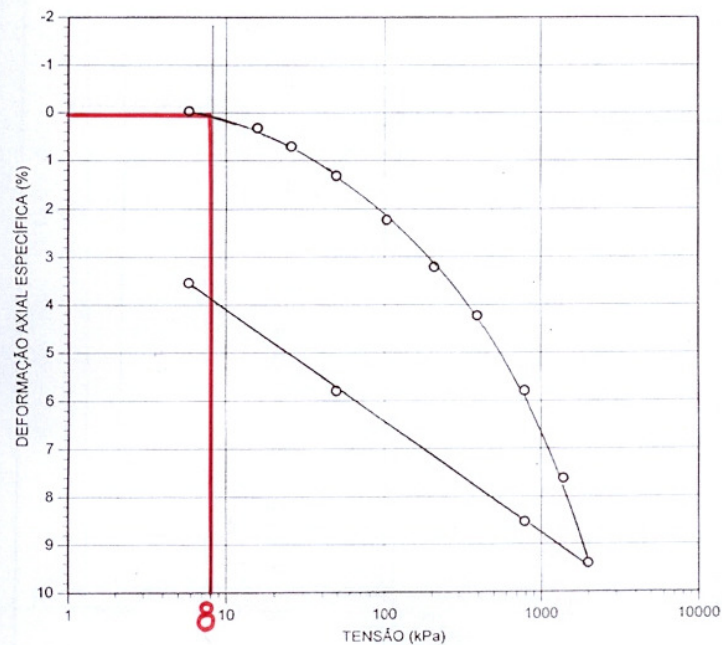


ENSAIO REALIZADO  
PELO PROCESSO 2

Nº IPT: 11760  
FURO: SR-39 EBV- 03

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - I.P.T. DEC. - AGRUP. DE MEC. SOLOS E FUNDAÇÕES			
Data: 19/12/2000	Engº <i>Amey</i>	A.M.S.F.	
Des.			
Alphageos		3-RT49 476	

FIGURA 20



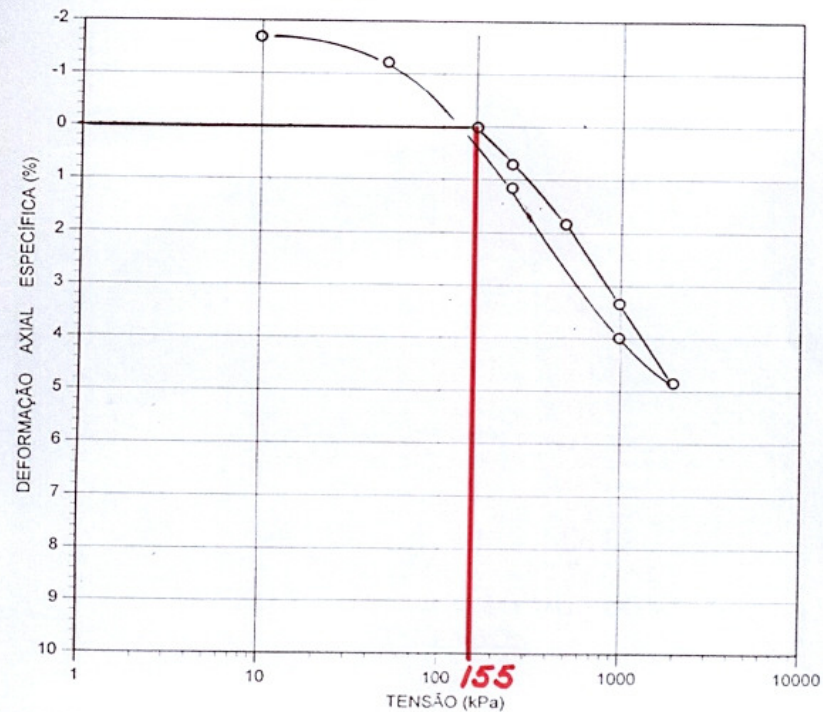
ENSAIO REALIZADO PELO  
PROCESSO 1

Nº IPT: 11761  
FURO: SRC- 01

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - I.P.T. DEC - AGRUP. DE MEC. SOLOS E FUNDAÇÕES		
Data: 19/12/2000	Engº <i>[Assinatura]</i>	A.M.S.F.
Des.	Alphageos	2-RT 49 476

FIGURA 21

FIGURA 21



ENSAIO REALIZADO  
PELO PROCESSO 2

Nº IPT: 11761  
FURO: SRC-01

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - I.P.T. DEC - AGRUP. DE MEC. SOLOS E FUNDAÇÕES		
Data: 19/12/2000	Engº <i>[Assinatura]</i>	A.M.S.F.
Des.	Alphageos	4-RT 49 476

FIGURA 22



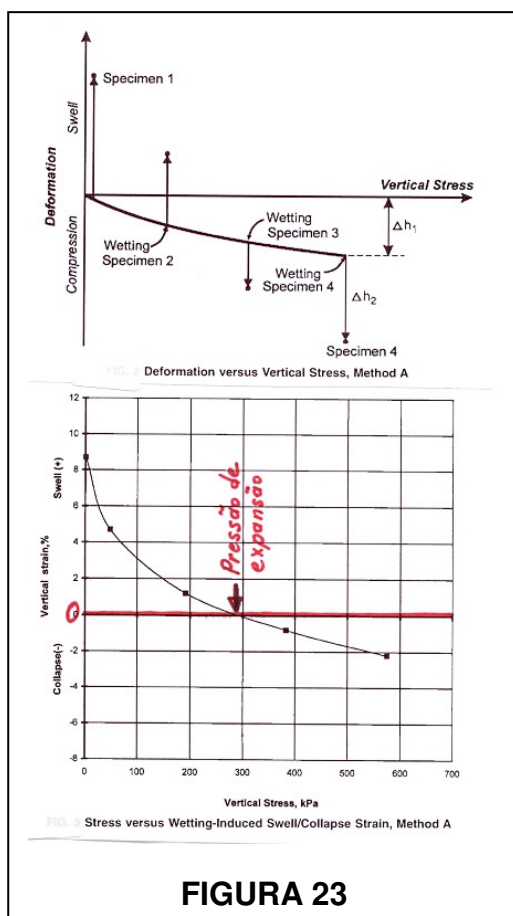
Como observa-se, os resultados dos dois tipos de ensaios são muito diferentes, com a pressão de expansão que consideramos correta, a saber, “a pressão de expansão que a amostra exerce contra o dispositivo que impede qualquer deformação durante a saturação” medida nos ensaios a volume constante da ordem de 1,5 kg/cm<sup>2</sup> a 1,8kg/cm<sup>2</sup>, enquanto que a pressão medida nos ensaios a volume variável varia de 0,1kg/cm<sup>2</sup> a 0,5kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente.

Conforme mencionado anteriormente, o IPT indica no seu Relatório Técnico nº 48369 que:

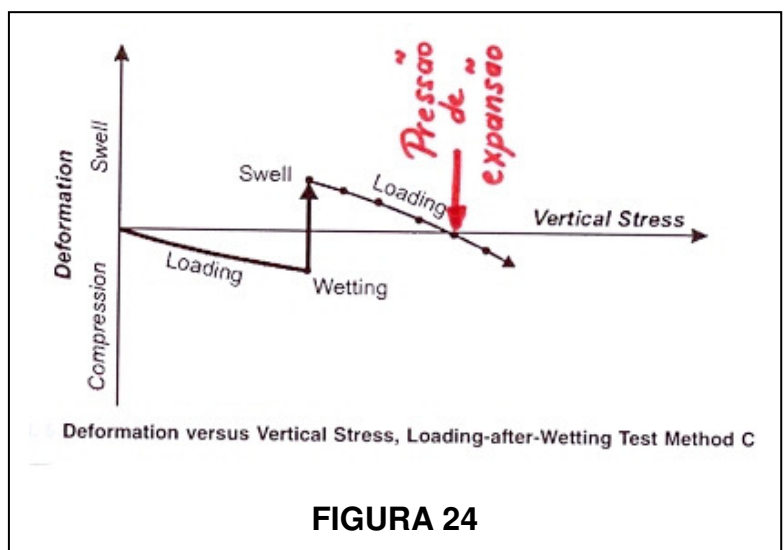
“Dois tipos de ensaios, denominados neste relatório de processos 1 (expansão livre) e 2 (volume constante), foram realizados em cada amostra, sendo que as metodologias utilizadas nesses ensaios correspondem aproximadamente aos métodos A e C da norma D 4546-90 da ASTM (One-dimensional swell or settlement potential of cohesive soils)” e que:

- “No processo 1 a pressão de expansão é a tensão axial necessária para fazer o corpo de prova retornar à sua altura original, após a ocorrência da expansão e
- No processo 2 a pressão de expansão é a pressão aplicada pelo dinamômetro mantendo a altura do corpo de prova constante.”

As figuras 23 e 24, a seguir, ilustram os métodos A e C da norma D 4546-08 da ASTM “Standard Test Methods for one-dimensional swell or collapse of cohesive soils”.



**FIGURA 23**



**FIGURA 24**

Fica claro na figura 24 acima que o método C da ASTM é idêntico ao processo 1 do IPT, que é o processo usado, também, em todos os ensaios a volume variável executados pela ALPHAGEOS, pela UFPE e pela UFRN.

Fica claro na figura 23 que é possível concordar com o IPT a respeito de sua consideração que o processo 2 corresponde aproximadamente ao método A da ASTM.

No que diz respeito ao método C, ou seja o processo 1 usado na maioria dos ensaios executados conforme mostra o quadro 20, a ASTM indica no final do texto da norma: *“The results of Method C can be used in cases that involve loading subsequent to heave/settlement due to wetting”*, ou seja: *“Os resultados do método C podem ser usados nos casos que envolvem carregamento posterior à expansão (ou colapso) devida(o) à umidificação”*, o que não é o caso das obras objeto do presente estudo.

No caso dos ensaios E5 em amostras de argilito, o relatório da UFRN não indica as pressões de expansão que, pelo mesmo critério anterior seriam:

- 300 kPa na amostra Argilito 1 e
- 580 kPa na amostra Argilito 2.

Ou seja, na faixa de 3,0 a 5,8kg/cm<sup>2</sup>. Se considerarmos, como mostrado anteriormente, que as pressões de expansão fornecidas pelos ensaios a volume variável são muito inferiores às pressões de expansão fornecidas pelos ensaios, a volume constante, executados nos mesmos materiais pelo IPT (0,1 a 0,5kg/cm<sup>2</sup> contra 1,5 a 1,8kg/cm<sup>2</sup>), pode concluir-se que as pressões de expansão obtidas no argilito em ensaios a volume constante seriam bastante maior que 3,0 a 5,8kg/cm<sup>2</sup>, o que faz com que o valor de 17,1kg/cm<sup>2</sup> medido pelo IPT em um dos ensaios a volume constante não possa ser descartado como vem sendo feito até o momento por parte de todos os envolvidos no projeto.

#### **4.5.5 Conclusões Tiradas dos Ensaios de Adensamento em Solos Colapsíveis e em Solos Expansivos**

Pode-se tirar as seguintes conclusões a partir dos resultados dos ensaios de adensamento em solos colapsíveis apresentados no item 4.5.2:

A amostra indeformada de bloco retirada na estaca 65 da barragem Mandantes a 1,5m de profundidade objeto dos ensaios C4 mostrou que trata-se de um solo bastante colapsível com deformação na faixa de 2 a 5% quando inundada abaixo de 12,5kPa a 200kPa

A amostra indeformada de bloco retirada na estaca 18+10 da barragem Mandantes objeto dos ensaios C3 mostrou que trata-se de um solo bastante colapsível com deformação de 2,5% quando inundada abaixo de 12,5kPa. Não se dispõe de nenhuma informação sobre a profundidade na qual foi retirada a amostra, entretanto, por ser uma amostra de bloco, a profundidade deve ser pequena, 2 metros no máximo, como é o caso da amostra da estaca 65.

Teve uma terceira amostra indeformada de bloco retirada na estaca 44+10 da barragem Mandantes objeto dos ensaios C1 na qual foi realizada um ensaio de adensamento

convencional, sem fornecer nenhuma informação a respeito da possível colapsibilidade de solo.

Como se pode observar no desenho 001 “*Seção geológico-geotécnica longitudinal pelo eixo da barragem*”, os solos ensaiados nas amostras da estaca 65 e da estaca 18+10 são muito provavelmente constituídos pelo solo de alteração de arenito típico que ocorre na maior parte da fundação da barragem, o que leva a concluir que deverão ocorrer colapsos significativos das camadas de solo de alteração de arenito encontradas em praticamente toda a fundação da barragem com exceção da ombreira direita. Tais colapsos ocorrerão inclusive debaixo da estrutura da descarga de fundo, com maior intensidade a montante onde a camada é mais espessa e menor intensidade a jusante onde a camada é menos espessa.

Pode-se tirar as seguintes conclusões a partir dos resultados dos ensaios de adensamento em solos expansivos apresentados no item 4.5.3 e comentados no item 4.5.4.

Não foi ensaiada nenhuma amostra de argilito ou material argiloso retirada da fundação da barragem, entretanto, conforme mencionado no item 4.1 e claramente visível no desenho 001, existem ao longo de toda a fundação da barragem horizontes de argilito e de materiais argilosos intercalados no pacote de arenito, inclusive debaixo da estrutura do sangradouro e debaixo do canal de descarga, onde encontra-se um horizonte de argilito poucos metros abaixo da cota de fundação, sendo menos profundo do lado hidráulico esquerdo que do lado direito.

Nas amostras de argilito e materiais argilosos extraídas de outros locais, alguns bastante próximos como é o caso da EBV-3, os ensaios mostram que as deformações de expansão livre chegam a atingir 5 a 10% debaixo de 100 kPa e 17% debaixo de 12,5 kPa e as pressões de expansão (medidas a volume constante) variam de 1,5 a 17 kg/cm<sup>2</sup>. Não há dúvida que os horizontes de argilito e de materiais argilosos que se encontram na fundação da barragem e do sangradouro tenham propriedades parecidas com as das amostras ensaiadas. Por esta razão, prevê-se a ocorrência de expansões significativas em todos os horizontes de argilito/materiais argilosos. O maior acréscimo de tensão vertical debaixo do maciço na sua seção com 15m de altura chega a  $0,7 \times 2 \times 15 = 21$  T/m<sup>2</sup> ou 2,1kg/cm<sup>2</sup>, o que não é suficiente para impedir a expansão de argilito/material argiloso.

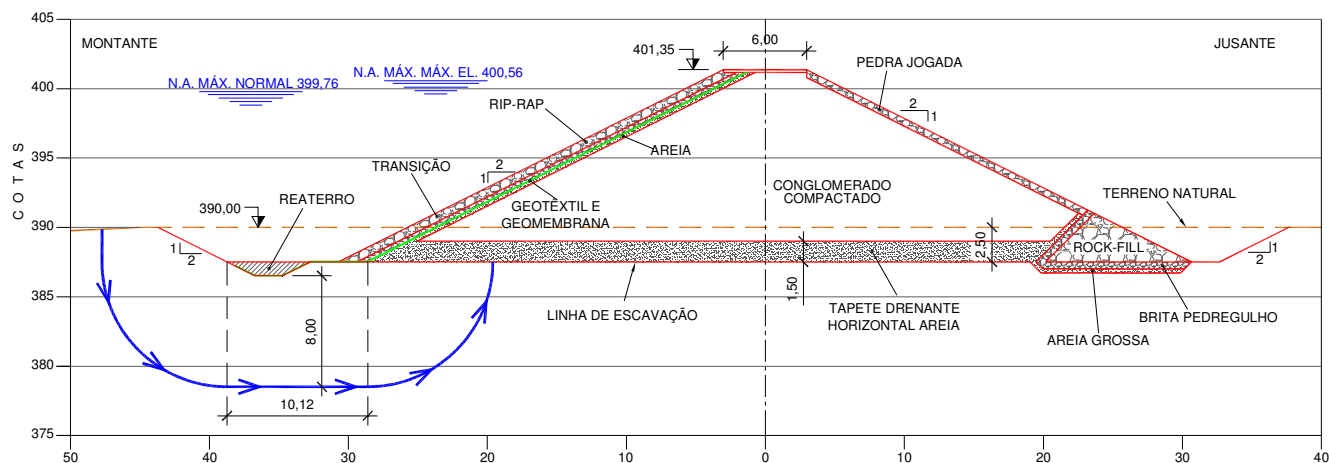
Face às alternâncias de argilito/materiais argilosos expansivos e de solo de alteração de arenito colapsível, espera-se um quadro de recalques algo caótico e não sujeito a ser quantificado a priori de forma adequada, podendo, entretanto, se afirmar que deverão ocorrer grandes recalques diferenciais debaixo da barragem e das estruturas.

## 5 CONCEPÇÃO DO MACIÇO DA BARRAGEM

Conforme visto no item 4, a barragem será fundada sobre um pacote aluvionar de alternâncias de camadas subhorizontais de conglomerado/arenito/argilito de baixo teor de umidade natural e com o N.A bastante profundo e, face às alternâncias de argilito/materiais argilosos expansivos e de solo de alteração de arenito colapsível, espera-se um quadro de recalques algo caótico e não sujeito a ser quantificado a priori de forma adequada, principalmente por causa das distâncias importantes entre sondagens,

Por causa destes recalques diferenciais, considera-se que a concepção da barragem consistindo de espaldares de conglomerado compactado e de um núcleo central de material argiloso compactado que consta do projeto básico não é a mais adequada às condições de fundação locais face ao risco de vir a ocorrer fissuramentos do núcleo como consequência praticamente inevitável da ocorrência dos recalques diferenciais esperados. Estes fissuramentos podem ocorrer tanto por abertura de fraturas em zonas de tração quanto por fraturamento hidráulico em zonas de arqueamento que gerem tensões localmente baixas, permitindo então a passagem franca da água através do núcleo com os riscos associados de “*piping*” no talude de jusante.

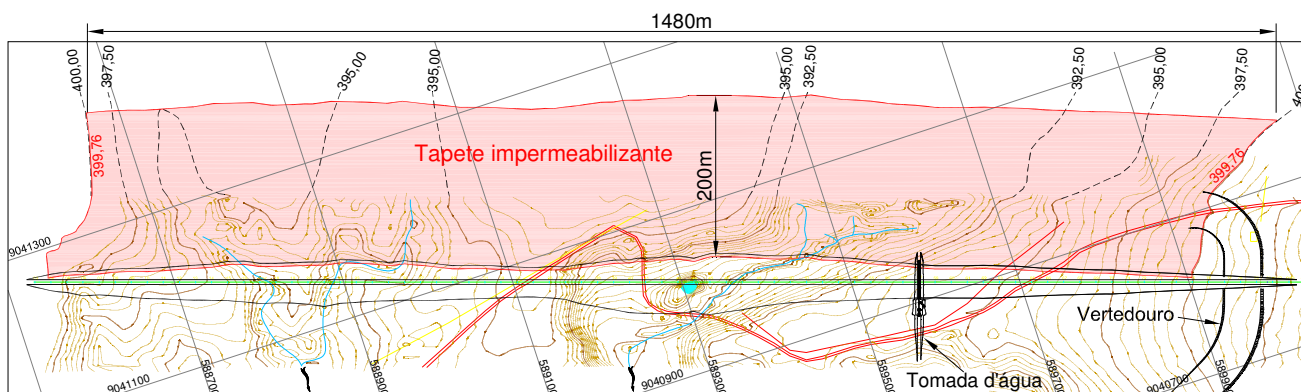
O solo de fundação apresenta permeabilidade que varia em torno de 10-5cm/s. Considerando, numa seção com a base do maciço na cota 390m, uma linha de fluxo a 8m de profundidade, como ilustrado na figura 25, a seguir, ter-se-ia, em primeira aproximação, uma perda de carga de 9,76m ao longo desta linha cujo comprimento é  $(10,12 + \pi \times 8) = 35,24\text{m}$  levando a um gradiente médio ao longo desta linha da ordem de:  $9,76 : 35,24 = 0,28$ , e a uma vazão de  $10^{-7}\text{m/s} \times 0,28 \times 1\text{m}^2 \times 86\,400\text{s/dia} = 2,4 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{dia}$  por  $\text{m}^2$  de seção da fundação debaixo do eixo do maciço. Na seção até 20m de profundidade ao longo de 1.200 metros de barragem (descartando as ombreiras nas quais o gradiente é muito menor) ter-se-ia uma vazão de  $2,4 \times 10^{-3}\text{m}^3/(\text{dia} \times \text{m}^2) \times 20\text{m} \times 1200\text{m} = 57,6\text{m}^3/\text{dia}$ .



Conforme informação verbal recebida durante a reunião realizada no escritório da Projetista em 23 de novembro de 2009, existe em torno de 500 000m<sup>3</sup> de argilito a ser escavado no local da EBV-3, a pouca distância da barragem Mandantes. Este material

que não tem seu aproveitamento previsto para nenhuma finalidade específica será melhor aproveitado se depositado a montante do maciço de Mandantes, constituindo assim um tapete impermeabilizante de baixíssimo custo, do que se fosse enviado para alguma zona de bota fora.

Ao depositar este volume de argilito com uma espessura média de 1,70m ao longo dos 1480m do talude da barragem de montante que se encontram abaixo do N.A máximo normal, o volume disponível permitiria executar um tapete da ordem de 200m de comprimento, como mostrado na figura 26, a seguir.



**FIGURA 26**

Desta forma, o gradiente médio pela fundação diminuiria do valor igual a 0,28 calculado anteriormente sem tapete impermeabilizante para  $9,76 : (200 + \pi \times 8) = 0,043$  o que levaria a uma vazão de percolação pela fundação em torno de  $57,6\text{m}^3/\text{dia} \times (0,043 : 0,28)$  ou seja  $8,8\text{m}^3/\text{dia}$ .

A concepção do maciço está mostrada no desenho 003 “Seção transversal tipo e detalhes do maciço da barragem”.

## 6 CONCEPÇÃO DA DESCARGA DE FUNDO

Conforme visto no item 4.2, a descarga de fundo se encontra num local no qual não foi detectada nenhuma ocorrência de argilito, com a fundação constituída por uma camada superficial de colúvio de 1,0 a 1,5m de profundidade sobrejacente à uma camada de areia fina a média siltosa cujo contato com o arenito incoerente a pouco coerente subjacente se encontra em torno das cotas:

- 385,9m 40m a montante do eixo;
- 387,0m no eixo e
- 388,0m 40m a jusante do eixo.

Sendo que a tubulação da descarga de fundo está projetada para ter seu eixo na cota 391,00m conforme informação verbal recebida durante a visita à barragem.

Por conta da colapsibilidade do solo de alteração de arenito ali presente, ocorrerão colapsos debaixo da estrutura da descarga de fundo, com maior intensidade a montante



onde a camada é mais espessa e menor intensidade a jusante onde a camada é menos espessa.

Por esta razão, é altamente desaconselhável a instalação da tubulação embutida dentro do maciço, mesmo com um envelopamento de concreto por causa do risco de ruptura da tubulação provocada pelos recalques, sabendo que uma tal ruptura levaria rapidamente à ruína da barragem por erosão interna.

A solução adequada consiste na execução de uma galeria de concreto armado em módulos curtos atravessando o maciço de montante a jusante na qual a tubulação será instalada apoiada em berços de concreto como mostrado no desenho 004 “Seções longitudinal e transversal da galeria de descarga de fundo”.

As condições de fundação desaconselham a execução de uma torre de comando na extremidade de montante da galeria visando o comando por montante da descarga de fundo uma vez que a torre apoiada numa fundação rasa correria o risco de sofrer desaprumo significativo e que com a torre apoiada numa fundação estaqueada correr-se-ia o risco de um cisalhamento da estrutura e da tubulação no contato entre a torre e o primeiro módulo da galeria.

Será portanto necessário que o controle da descarga seja feito por jusante. Prevê-se, portanto, que a galeria será executada, de montante até jusante, antes da execução do maciço. A tubulação será em seguida instalada estendendo-se um pouco para montante da face de montante do primeiro módulo da galeria e será executado um “plug” de concreto no primeiro módulo da galeria como mostrado no desenho 004 “Seções longitudinal e transversal da galeria de descarga de fundo”.

A montante do plug será instalada a grade e na extremidade de jusante da tubulação serão instaladas as válvulas necessárias ao controle da descarga alojadas numa estrutura de comando leve apoiada em fundação rasa.

## **7 CONCEPÇÃO DO SANGRADOURO E DO CANAL DE DESCARGA**

Conforme visto no item 4.3, o sangradouro e o canal de descarga serão fundados sobre areia fina a média siltosa colapsível, sendo que debaixo da estrutura do sangradouro e debaixo do canal de descarga, encontra-se um horizonte argiloso poucos metros abaixo da cota de fundação, sendo menos profundo do lado hidráulico esquerdo que do lado direito.

Face às alternâncias de argilito/materiais argilosos expansivos e de solo de alteração de arenito colapsível, espera-se um quadro de recalques algo caótico e não sujeito a ser quantificado a priori de forma adequada, podendo, entretanto, se afirmar que deverão ocorrer grandes recalques diferenciais debaixo do sangradouro e do canal de descarga.

Por esta razão é altamente desaconselhável a execução de uma estrutura rígida para o sangradouro, face aos riscos de:

- Fissuramento da estrutura por causa dos grandes recalques diferenciais e



- Fraturamento hidráulico no contato da base da estrutura com o solo de fundação nas zonas de maiores recalques por causa do grande alívio da tensão vertical de contato naquelas zonas.

Da mesma forma, é desaconselhável a execução de uma estrutura ou de um revestimento rígido para o canal de descarga.

Uma vez que a vazão efluente específica é bastante baixa ( $28\text{m}^3/\text{s} : 45\text{m} = 0,62\text{m}^3/\text{s}$  por metro), e que a declividade do canal de descarga é pequena, resultando em velocidade de escoamento razoavelmente baixa, o canal de descarga poderá ser protegido por enrocamento arrumado sobre um geotêxtil, Bidim ou equivalente com em torno de  $600\text{g}/\text{m}^2$ .

A estrutura vertente, de baixa altura, também deve ser flexível, podendo ser do tipo “*Terra armada*” ou tipo “*Gabiões*” com um elemento impermeabilizante na soleira resistente ao vandalismo. Recomenda-se que se usem elementos curtos (1,5 a 2,0m) de concreto justapostos com juntas fugenband para acomodar os deslocamentos diferenciais entre blocos vizinhos.

## 8 MONITORAMENTO DO MACIÇO E DAS ESTRUTURAS

O projeto básico prevê a instrumentação de quatro seções do macio com um total de:

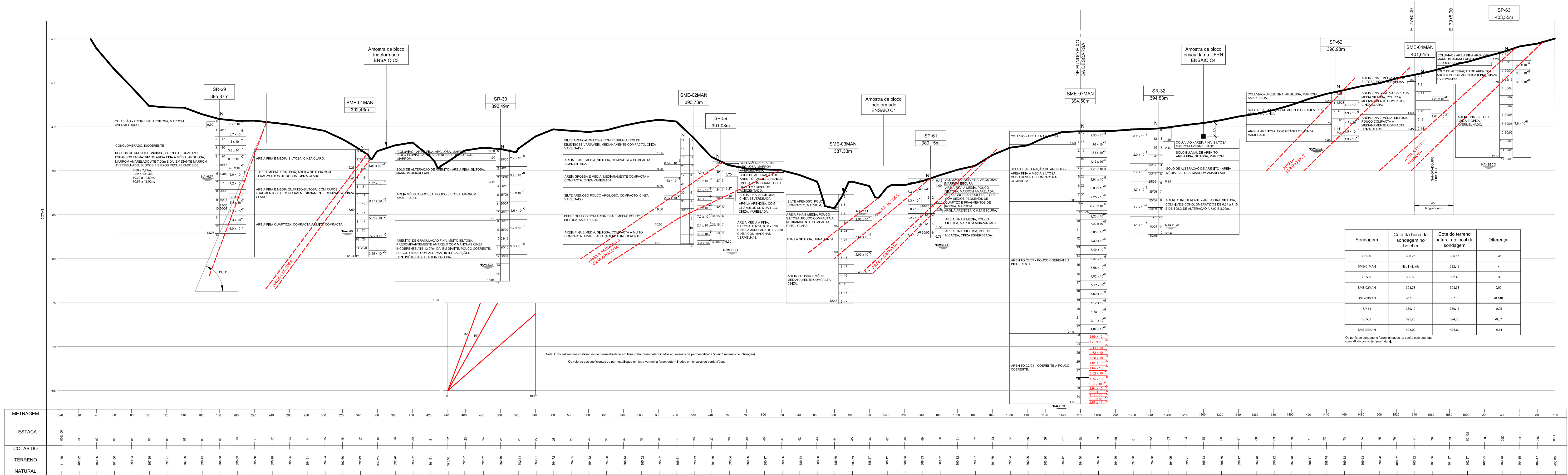
- 20 piezômetros Casagrande;
- 1 medidor de recalque tipo IPT e
- 3 marcos de recalques superficiais.

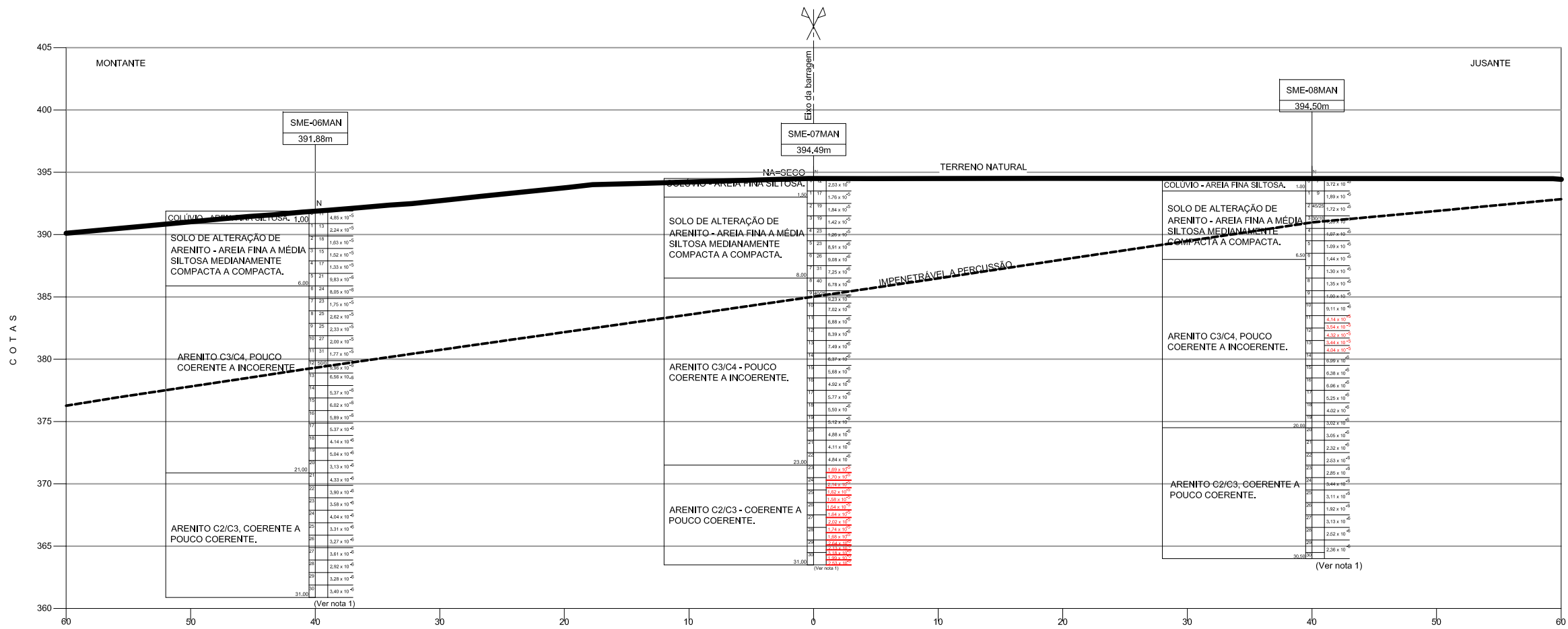
Recomendamos que a barragem seja instrumentada tão somente para o monitoramento dos recalques superficiais, face ao esperado quadro caótico de recalques com:

- 1 marco fixo (“*Bench Mark*”) em cada ombreira;
- 1 marco superficial na crista do maciço a cada estaca da barragem começando na estaca 3 e indo até a estaca 82;
- 1 pino de recalque embutido na parede da galeria de descarga de fundo a cada extremidade de cada módulo distante 20cm de junta com o módulo vizinho e
- 1 pino de recalque e cada elemento de concreto da soleira do sangradouro;
- Perfazendo os seguintes totais:
  - Marcos fixos nas ombreiras .....2;
  - Marcos superficiais na crista da barragem.....80;
  - Pinos nas paredes da galeria ..... 12;
  - Pinos na soleira do sangradouro.....30.

## ***Anexo - Desenhos***

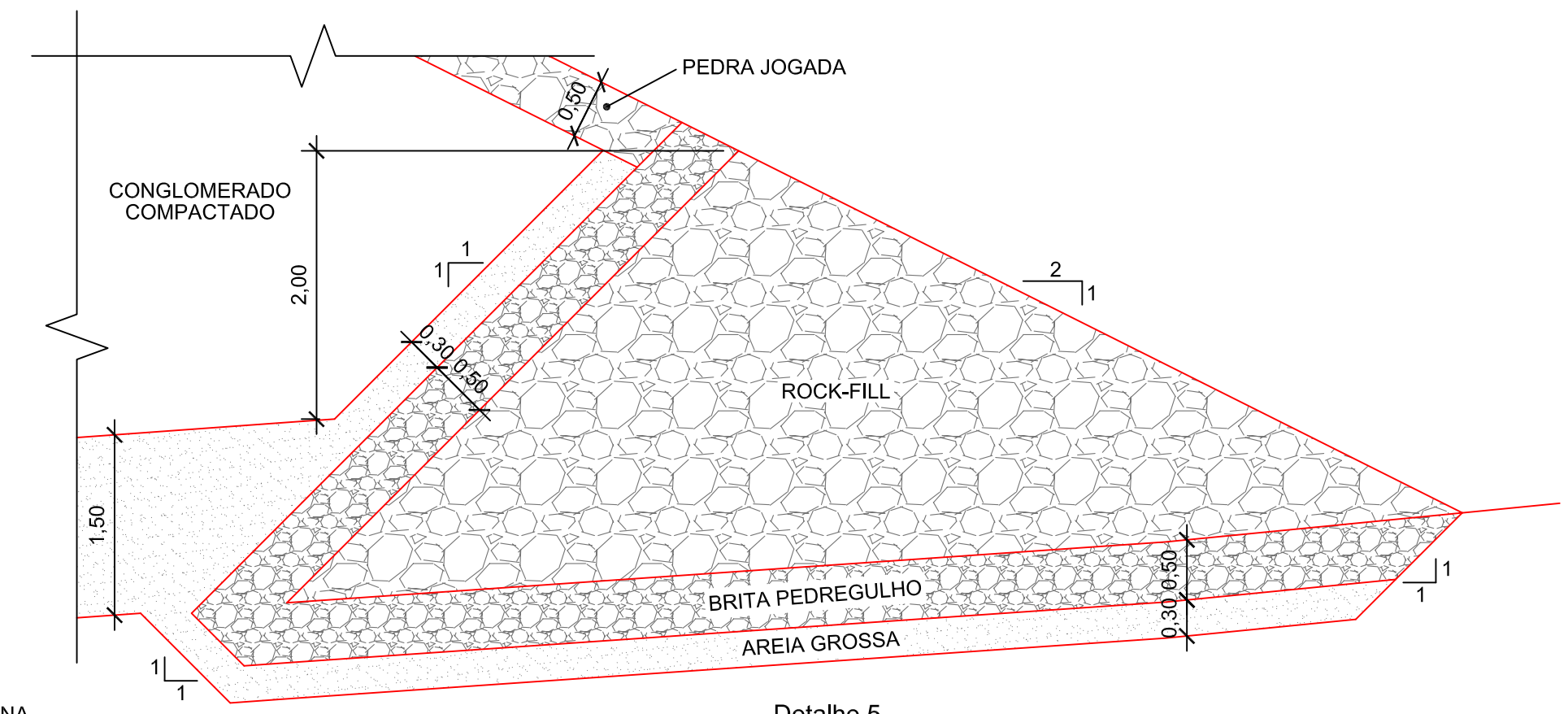
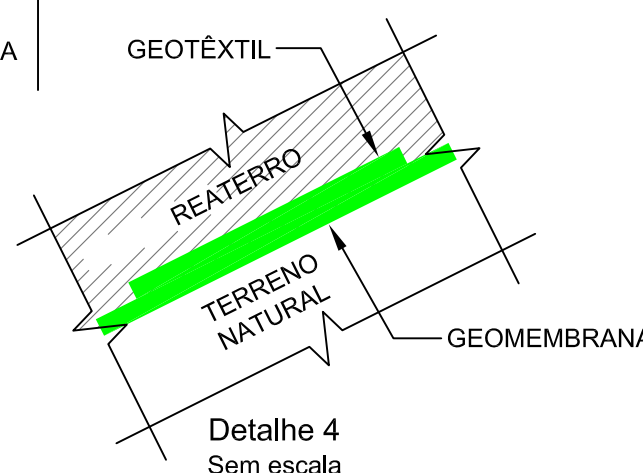
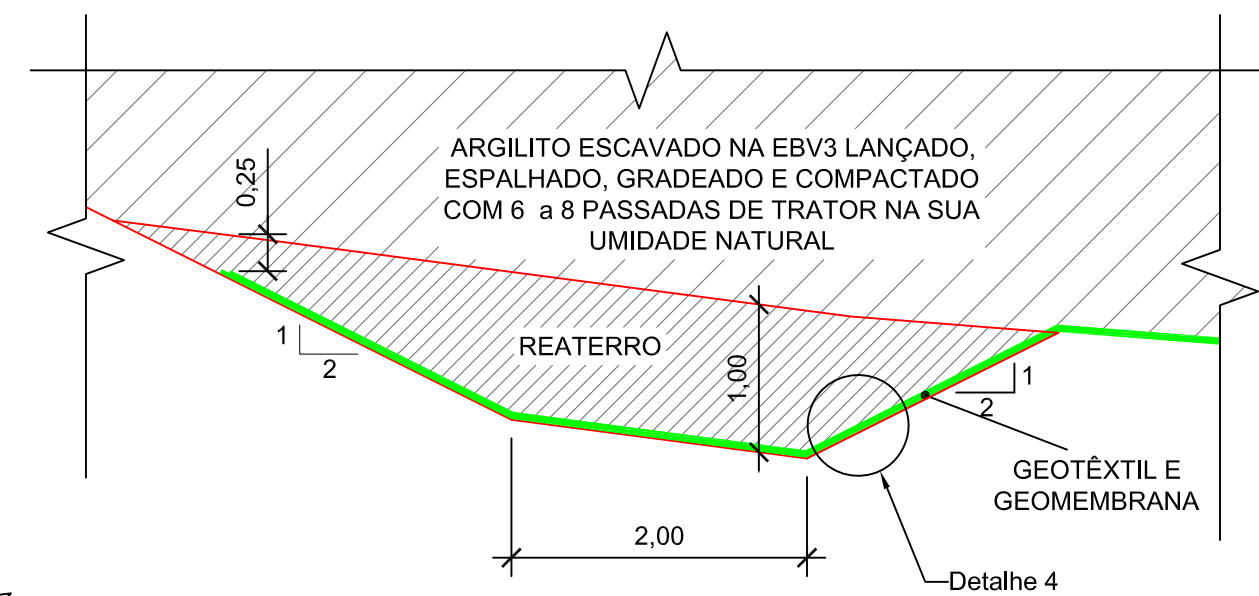
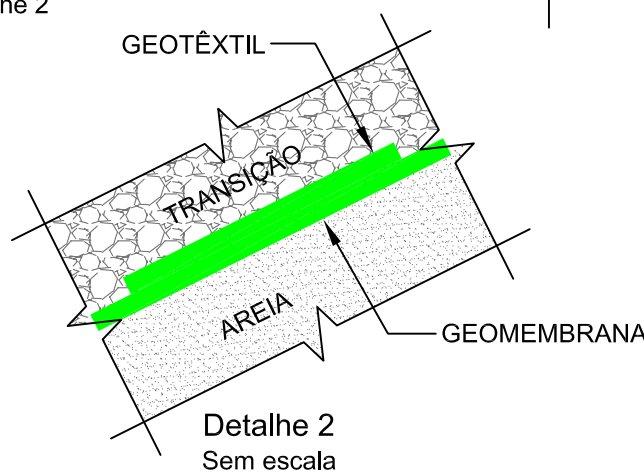
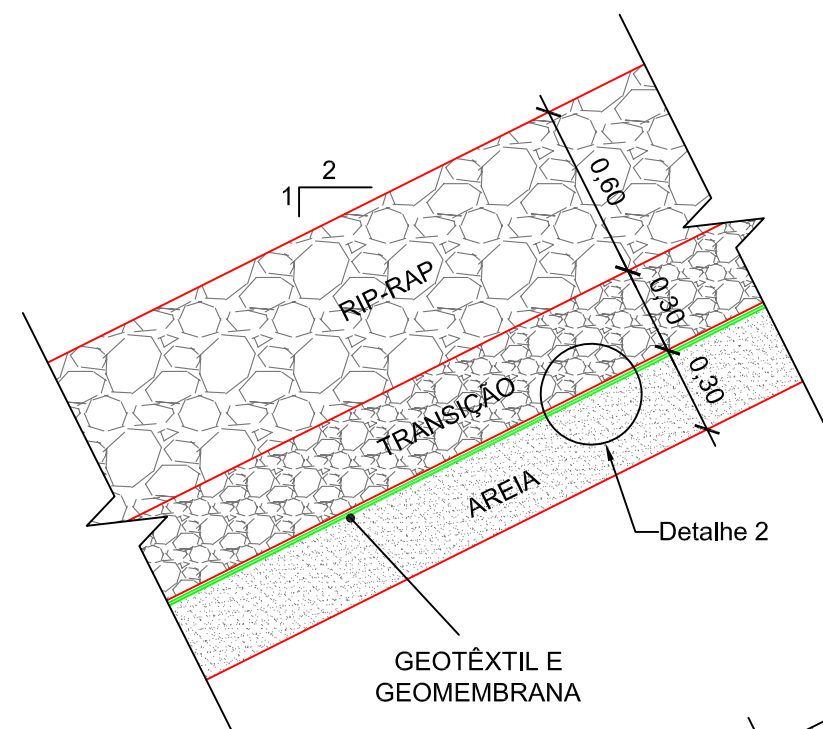
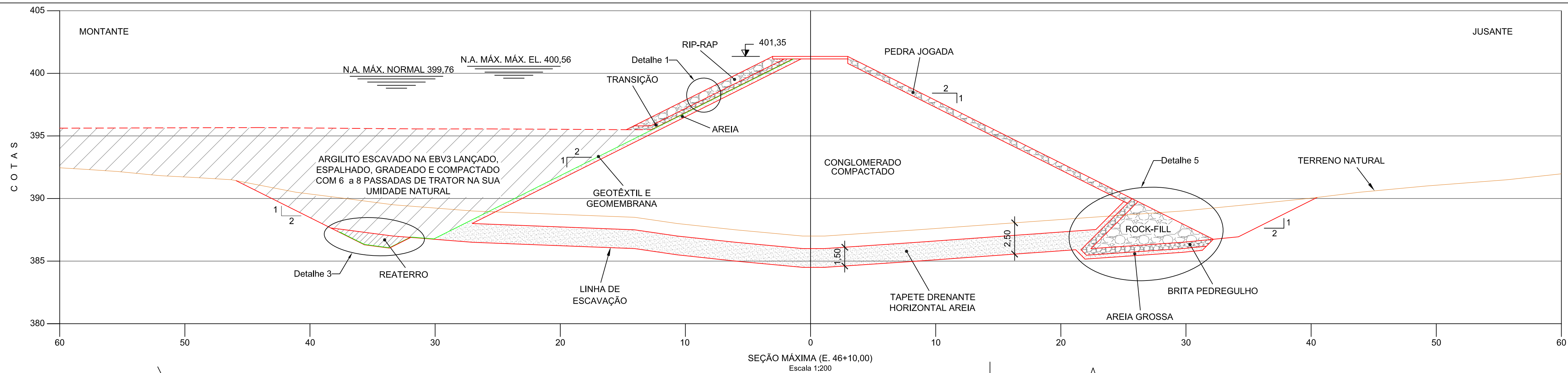
---





Nota 1: Os valores dos coeficientes de permeabilidade em letra preta foram determinados em ensaios de permeabilidade "in-situ" (ensaios de infiltração). Os valores dos coeficientes de permeabilidade em letra vermelha foram determinados em ensaios de perda d'água.

Desenho 002: Seção geológico-geotécnica pelo eixo da descarga de fundo  
Escala 1:200



Desenho 003: Seção transversal tipo e detalhes do maciço da barragem  
Escala indicada



