

**FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A
AHE SIMPLÍCIO QUEDA ÚNICA
MEIO AMBIENTE
ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL**

**ANEXO IV-A - CONDIÇÕES GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICAS DAS FUNDAÇÕES DAS OBRAS**

8794/00-6B-RL-0001-0

7 DE MAIO DE 2004

ELABO.: TLCC/FAR/CGM	VERIF.: JBCF	APROV.: SBN	FINAL.
-------------------------	-----------------	----------------	--------

ÍNDICE	PÁG.
1 - CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DAS FUNDAÇÕES DAS OBRAS.....	4
2 - PCH ANTA.....	7
3 - CANAL 1.....	9
4 - TÚNEL 1.....	10
5 - CANAL 2.....	11
6 - DIQUE DE TOCAIA.....	11
7 - CANAL 3.....	12
8 - TÚNEL 2.....	13
9 - CANAL 4.....	13
10 - SOLEIRA GALGÁVEL DE LOURIÇAL.....	14
11 - DIQUES DE LOURIÇAL.....	14
12 - ÁREA 5.....	16
13 - CANAL 5.....	17
14 - DIQUES ESTACAS 1 E 2.....	17
15 - CANAL 6.....	19
16 - TÚNEL 3.....	20
17 - CANAL 7.....	21
18 - DIQUE ANTONINA.....	22
19 - CANAL 8.....	24
20 - DIQUE NORTE.....	26
21 - DIQUE SUL.....	27

22 - USINA DE SIMPLÍCIO 29

23 - ESTANQUEIDADE DOS RESERVATÓRIOS..... 33

ANEXO IV-A - CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DAS FUNDAÇÕES DAS OBRAS**1 - CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DAS FUNDAÇÕES DAS OBRAS**

Neste item enfoca-se a caracterização dos materiais “in situ” visando, principalmente, a avaliação do comportamento desses materiais como fundação das diferentes estruturas.

Para a caracterização desses materiais, foram usadas as descrições dos testemunhos de sondagens, cujos parâmetros e critérios são:

- Parâmetros relativos ao maciço rochoso: coerência e decomposição mineralógica;
- Parâmetros relativos às discontinuidades: grau de fraturamento, características da superfície e inclinação das discontinuidades;
- Parâmetro misto: condutividade hidráulica.

- Coerência

Este parâmetro destina-se a avaliar, de forma indireta, as características de resistência da rocha.

Foram estabelecidos quatro graus de coerência:

C1 - Muito Coerente

A rocha quebra-se com dificuldade ao golpe do martelo, produzindo poucos fragmentos de bordos cortantes. Superfície dificilmente riscável com aço. Somente escavável a fogo;

C2 - Coerente

Quebra-se com relativa facilidade ao golpe do martelo, produzindo vários fragmentos de bordos que podem ser abatidos pelo corte com lâmina de aço. Superfície riscável com aço. Deixando sulcos leves. Escavável a fogo;

C3 - Medianamente Coerente

Quebra-se facilmente ao golpe do martelo, produzindo vários fragmentos de bordos que podem ser abatidos sob pressão dos dedos; Superfície riscável com lâmina de aço, deixando sulco profundo;

C4 - Pouco Coerente

Quebra-se com muita facilidade ao golpe do martelo (esfarela), produzindo muitos fragmentos que podem ser partidos manualmente;

- Decomposição

Este parâmetro destina-se a avaliar a alteração mineralógica e o decréscimo da resistência mecânica devida ao intemperismo ou efeitos hidrotermais. Os graus foram definidos por comparação com o espécime são.

No caso dos granitóides, rochas duras, os graus de decomposição puderam ser correlacionados com os graus de coerência.

Foram estabelecidos quatro graus:

D1 - Rocha Sã

Sã ou praticamente sã. Alteração mineralógica nula a incipiente, cor original intacta;

D2 - Rocha Medianamente Decomposta

Alteração mineralógica perceptível. Cores esmaecidas;

D3 - Rocha Muito Decomposta

Alteração mineralógica acentuada. Cores bastante modificadas;

D4 - Rocha Extremamente Decomposta

Alteração mineralógica muito avançada. Cores totalmente modificadas.

- Fraturamento

Este parâmetro indica o número de descontinuidades por trecho de fraturamento homogêneo, independentemente das manobras.

Por descontinuidades entende-se fraturas, diáclases, juntas e microfalhas. Planos de xistosidade não foram considerados. Entretanto, na descrição procurou-se indicar a maior ou menor facilidade de partição da rocha ao longo desses planos.

Consideram-se como descontinuidades todas as estruturas que provocam a separação física do testemunho ao longo de uma superfície. Não foram, portanto consideradas as estruturas onde injeções de material pétreo (quartzo, calcita, etc.) promoveram a soldagem das paredes, conferindo ao conjunto rocha-fratura uma resistência igual ou superior à da rocha.

Portanto, foram computadas todas as descontinuidades existentes, instaladas, com exceção de:

Fraturas artificiais produzidas pela operação da máquina;

Fraturas não instaladas, soldadas por material pétreo, de resistência igual ou superior à da rocha.

Foram estabelecidos cinco graus de fraturamento:

F1 - Rocha Muito Pouco Fraturada

- De 0 a 1 fratura por metro;

F2 - Rocha Pouco Fraturada

- De 2 a 5 fraturas por metro;

F3 – Rocha Medianamente Fraturada

- De 6 a 10 fraturas por metro;

F4 – Rocha Muito Fraturada

- De 11 a 20 fraturas por metro;

F5 – Rocha Extremamente Fraturada

- Mais de 20 fraturas por metro.

Para as zonas cisalhadas foi adotado o grau F5.

- **Condição de Fratura**

Este parâmetro destina-se a descrever as irregularidades das descontinuidades visando avaliar sua potencial resistência ao cisalhamento e referem-se a juntas sem preenchimento, ou seja, as que apresentam contato rocha x rocha.

Foram considerados cinco tipos:

- CF1 – Áspera e irregular;
- CF2 – Lisa e irregular; áspera e regular;
- CF3- Lisa e regular;
- CF4 – Preenchida com material granular;
- CF5 – Com “slickenside” ou fraturamento preenchido com material argiloso ou talcoso.

- **Inclinação**

Este parâmetro destina-se a uma avaliação da geometria das descontinuidades, sendo o valor medido em relação à horizontal.

Foram considerados seis tipos:

- I1 – Descontinuidades de 0 até 15 graus;
- I2 – Descontinuidades de 16 até 30 graus;
- I3 – Descontinuidades de 31 até 45 graus;
- I4 – Descontinuidades de 46 até 60 graus;
- I5 – Descontinuidades de 61 até 75 graus;
- I6 – Descontinuidades de 76 até 90 graus.

- **Condutividade Hidráulica**

Este parâmetro foi obtido a partir dos resultados dos ensaios de perda d'água sob pressão, calculando-se a perda d'água específica ($l/m \cdot \min \cdot kg/c \cdot m^2$) para cada estágio de pressão efetivamente aplicado no trecho ensaiado, e adotando-se a máxima perda d'água

específica, independentemente da pressão de ensaio. As pressões efetivas de ensaio levaram em conta as perdas de carga nas tubulações.

Foram estabelecidos cinco graus:

- H1 – Muito baixa $PE < 0,1 \text{ l/m/min. kg/cm}^2 = K < 10^{-5} \text{ cm/s}$
- H2 – Baixa $0,1 \leq PE < 1 \text{ l/m/min. kg/cm}^2 = 10^{-5} \leq K < 10^{-4} \text{ cm/s}$
- H3 – Moderada $1 \leq PE < 5 \text{ l/m/min. kg/cm}^2 = 10^{-4} \leq K < 5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$
- H4 – Alta $5 \leq PE < 10 \text{ l/m/min. kg/cm}^2 = 5 \times 10^{-4} < K < 10^{-3} \text{ cm/s}$
- H5 – Muito Alta $PE \geq 10 \text{ l/m/min. kg/cm}^2 = K \geq 10^{-3} \text{ cm/s}$

- Resistência

Trata-se da resistência a compressão simples, força aplicada no sentido longitudinal ao testemunho de sondagem.

Foram considerados cinco graus:

- R1 - $R < 50 \text{ kg/cm}^2$
- R2 - $50 \leq R < 100 \text{ kg/cm}^2$
- R3 - .. $100 \leq R < 300 \text{ kg/cm}^2$
- R4 - .. $300 \leq R < 600 \text{ kg/cm}^2$
- R5 - $R \geq 600 \text{ kg/cm}^2$

A seguir descrevem-se as condições geológico-geotécnicas nos locais de cada obra, na ordem geográfica sequencial, de montante para jusante.

2 - PCH ANTA

- Aspectos Gerais

No local da PCH Anta, o vale do rio Paraíba do Sul tem a forma aproximada de “U” com ombreiras relativamente íngremes (em torno de 30°) e um fundo de vale aplainado com 250 a 300 m de extensão.

O canal mais profundo do rio, escavado em rocha, ocupa cerca de 1/3 de sua largura durante a estiagem, quando o nível d’água se encontra na elevação 233,5 m, aproximadamente.

Em ambas as margens do rio ocorrem depósitos aluvionares e no fundo do vale destaca-se um patamar rochoso que aflora durante a estiagem.

As ombreiras são capeadas por solos coluvionares e residuais que apresentam pequenos voçorocamentos localizados.

A espessura dos horizontes de solo e transição solo rocha, na ombreira direita, atinge até 30 m em alguns pontos. Na ombreira esquerda a espessura dos solos atinge no máximo 15 m, mas em geral é pequena, em torno de 3 a 5 m.

As características desses horizontes são aquelas já descritas. A exceção é o solo residual jovem que, no local, é pouco caulínico.

A geologia e geotecnia relativos à Barragem de Anta estão apresentadas nos desenhos: 8635-US-3G-A1-0003 a 0009), onde constam o mapa geológico-geotécnico do local do aproveitamento, a locação das investigações geológico-geotécnicas, seções geológico-geotécnicas na área da barragem e a localização e caracterização das áreas de empréstimo de solos.

- **Maciço Rochoso**

No sítio estudado, a posição do topo da rocha relaciona-se à topografia. Aflora no leito do rio, e encontra-se mais profunda na ombreira direita que na esquerda.

A espessura média do horizonte de rocha medianamente e/ou muito decomposta não é grande. Situa-se em torno de 3 m nas ombreiras e praticamente inexiste no leito do rio. Espessuras maiores ocorrem em áreas localizadas das ombreiras, atingem até 10 m e são condicionadas por variações composicionais da rocha.

Cerca de 50-100 m a montante do eixo do barramento, no leito do rio ocorre um dique de diabásio, em forma de "L", com espessura entre 4 e 8 m, possuindo um segmento concordante com a foliação subvertical dos gnaisses encaixantes e outro segmento de direção "NW", que desaparece para montante sob uma linha constituída superficialmente por solo aluvionar. O segmento paralelo à foliação desaparece encoberto pelas águas do canal mais profundo do rio.

O grau de fraturamento, de modo geral, só é mais acentuado nos 5 primeiros metros do maciço rochoso, com exceção das proximidades do dique de diabásio, onde o maciço encaixante se apresenta com mais efeitos estruturais, causados e/ou acentuados pela intrusão do referido dique.

As porções do maciço com condutividade hidráulica superior a 5 Hv, também estão restritas aos seus primeiros 5 m, com exceção da região influenciada pela intrusão do dique de diabásio, onde a densidade de descontinuidades abertas é maior. Mesmo assim, a quantidade de trechos com alta condutividade nesta área perturbada é pouco significativa e, aparentemente, a continuidade dos planos condutores não é limitada.

- **Condições e Tratamentos de Fundação**

As estruturas da obra se assentarão em rocha sã ou pouco decomposta, a qual não apresenta feições geomecânicas que possam ser consideradas problemáticas.

O plinto e a barragem serão parcialmente assentados, em trechos restritos na margem esquerda, sobre rochas medianamente ou muito decompostas, mas com condições geomecânicas adequadas às solicitações das estruturas a serem sobrepostas.

Foi prevista a execução de injeções na fundação do plinto com malha adensada e furos relativamente profundos no canal e na margem esquerda: no canal, em função das piores condições do maciço, e na margem esquerda devido à fundação ser em rocha

medianamente decomposta, com descontinuidades cujas paredes se apresentam, em muitos casos, decompostas ou levemente decompostas.

- Taludes em Rocha

Os taludes em rocha terão inclinação 1H:10V em maciço são a pouco decomposto e 1H:2V em maciço decomposto. A largura das bermas construtivas deve ser, no mínimo, de 1 m e a altura máxima prevista para as bancadas será de 12 m.

Tratamentos eventuais com concreto projetado/tela e ancoragens estão previstos para o caso do aparecimento de zonas localizadas mais decompostas e/ou fraturadas ou, então, blocos instáveis.

- Taludes em Solo e Rocha nas Ombreiras

Os taludes em solo, na ombreira direita, foram projetados com inclinação de 4V:1H, com bermas de 6 m de largura a cada 4 m de altura, resultando num talude com declividade média de aproximadamente 1V:2H. Abaixo da El. 263,00 m, na região do canal de adução, os taludes foram projetados com inclinação de 1V:1H e 1V:1,5H. Esses taludes serão protegidos com enrocamento, o que também contribuirá para a estabilidade global das escavações nesta região.

Os taludes em rocha, nesta ombreira, são constituídos principalmente pela rocha que ficará exposta numa grande área após a remoção da camada superficial de solo e de transição solo-rocha.

É prevista a aplicação de concreto projetado (com tela metálica e ancoragens) para tratamento de eventuais regiões mais decompostas e/ou fraturadas e para fixação de blocos instáveis.

Na ombreira esquerda, os taludes em solo foram projetados com inclinação 1V:1H, com bermas a cada 10 m de altura. Os taludes, em rocha decomposta, foram projetados com inclinação 4V:1H.

3 - CANAL 1

O canal 1 é subdividido em três partes, cada uma delas com diferente solução de projeto.

- Canal 1 - Parte 1

O vale, neste local, tem largura variável, com pontos em que se apresenta estrangulado.

Na sua porção montante, do lado direito, a encosta é íngreme e apresenta indícios de rastejamento. No fundo do vale ocorrem afloramentos rochosos. A espessura média estimada de solo nas encostas é de cerca de 10 m. A encosta esquerda é semelhante à direita, mas não apresenta indícios de rastejamento.

Em ambas as encostas ocorrem indícios iniciais de processos erosivos, em consequência da abertura de estradas. Na encosta esquerda aparece uma cicatriz de escorregamento antigo, com cerca de 200 m de extensão.

Poucos metros a jusante deste trecho do Canal 1 ocorre, na margem esquerda, um grande afloramento rochoso, que deverá ser utilizado como pedreira para

complementação das necessidades de material pétreo para a Barragem de Anta e, eventualmente, para o canal.

A jusante deste afloramento, após a mudança de direção do vale, ocorrem outros estrangulamentos, com seção hidráulica reduzida. Na margem esquerda, ocorrem depósitos provenientes de antigos escorregamentos, aparentemente já estabilizados. No lado direito, a encosta é íngreme, apresentando espessura de solo em torno de 10 m. Neste lado ocorrem processos erosivos em estágio inicial.

- Canal 1 - Parte 2

Caracteriza-se por apresentar encostas íngremes em ambos os lados e afloramentos rochosos, em forma de lajes, no fundo do vale. A espessura média de solo e transição solo-rocha na margem direita é de aproximadamente 30 m e na margem esquerda de 20 m. Estas espessuras diminuem em direção ao fundo do vale.

Na margem esquerda, no solo coluvionar, no solo residual maduro e nos dois primeiros metros do solo residual jovem é comum a ocorrência de valores de resistência à penetração SPT inferiores a 5 golpes.

Na margem direita, o topo da rocha se aprofunda para o interior do maciço, onde se situa em elevações inferiores às do fundo do vale.

- Canal 1 - Parte 3

Neste local, a encosta da margem esquerda é bem íngreme, em contraposição à da margem direita, que é relativamente suave.

Na margem direita, a espessura média de solo é cerca de 20 m e, na margem esquerda, cerca de 8 m. Nas proximidades do fundo do vale, na margem esquerda, ocorrem afloramentos rochosos esparsos.

Nos solos da margem direita, são comuns as ocorrências de valores de SPT inferiores a 5 golpes, principalmente, no horizonte de solo residual jovem, que é rico em bolsões caulínicos e micáceos, aos quais, provavelmente, se relacionam os baixos valores de SPT. No entanto, estes pontos são esparsos e não têm continuidade.

Na margem esquerda, os valores de SPT inferiores a 5 golpes só ocorrem nos primeiros 5 m, constituídos por solo coluvionar e solo residual maduro.

No fundo do vale, ocorrem solos aluvionares e coluvionares saturados, com espessura média de 2 a 3 m.

4 - TÚNEL 1

O emboque montante do túnel se faz diretamente em rocha sã, em local onde extensos afloramentos rochosos são observados em superfície. No emboque jusante também ocorrem grandes afloramentos rochosos.

A qualidade geomecânica do maciço rochoso a ser escavado é predominantemente boa à ótima. Prevê-se que praticamente toda a escavação seja feita em rocha sã e pouco fraturada. A cobertura de rocha sã é adequada ao longo de todo o túnel.

Na superfície, aproximadamente na metade do eixo do túnel, ocorre um sela topográfica, que apresenta afloramentos de rocha sã em meio a solo colúvio-aluvionar saturado. As sondagens efetuadas indicaram, no entanto, que o maciço a ser escavado, e que recobre o túnel neste local, é de boa qualidade geomecânica.

5 - CANAL 2

O Canal 2 possui dois trechos distintos, descontínuos, com diferentes soluções de engenharia.

- Canal 2 - Parte 1

Situa-se nos primeiros 300 m, logo após a saída do Túnel 1.

Adjacente ao túnel, o canal é escavado em rocha com cobertura de depósitos de tálus constituído por blocos de até 3 m de diâmetro. Neste local, o maciço rochoso, no lado direito, é quase aflorante e de boa qualidade, sendo constituído por rocha sã e pouco fraturada. No lado esquerdo, existe uma cobertura de solo e transição solo-rocha com aproximadamente 10 m de espessura, sobre rocha de boa qualidade.

Para jusante, a encosta direita é praticamente toda constituída por rocha. Ocorrem aí diversos afloramentos rochosos e a cobertura de solo é insignificante.

Na margem esquerda ocorre um grande escorregamento, com cerca de 200 m de extensão e aproximadamente 45 m de altura da base ao topo. O grande volume de material instável é constituído por uma massa heterogênea de solo e blocos com diâmetros variáveis até 50 cm.

O fundo do vale, na região do escorregamento, teve a seção estrangulada pela massa instável que se movimentou em direção a ele.

- Canal 2 - Parte 2

Situa-se cerca de 250 m a jusante da Parte 1 e é de menor porte. As características geomecânicas são semelhantes as da Parte 1, com afloramentos rochosos na margem direita e escorregamento na margem esquerda.

6 - DIQUE DE TOCAIA

O dique situa-se num vale bastante encaixado, com ombreiras muito íngremes.

- Ombreira Direita

Na ombreira direita, a espessura da camada terrosa é pequena, com média de 3 m. Ocorrem afloramentos rochosos de pequeno porte, em vários locais, indicando a proximidade do substrato rochoso.

Os dados de sondagem indicaram que o maciço rochoso é constituído por rocha sã ou pouco decomposta e pouco fraturada, com exceção dos primeiros quinze metros, onde aparecem trechos localizados, com até 1 m de espessura, onde a rocha se apresenta medianamente fraturada.

A condutividade hidráulica do maciço é baixa, com exceção de um trecho em torno de 3,5 a 6 m de profundidade, onde é superior a 5 Hv. Supõe-se que a causa provável da ocorrência de trechos do maciço com condutividade alta, tanto nesta ombreira como na ombreira esquerda e no fundo do vale, sejam as juntas de alívio abertas, que ocorrem com frequência na porção superior do maciço rochoso no local.

- Ombreira Esquerda

Apresenta espessura média de solo e transição solo-rocha de aproximadamente 7 m. Nos primeiros 4 m, os valores de SPT são inferiores a 10 golpes, sendo maiores a partir daí, atingindo o impenetrável a cerca de 6 m de profundidade.

A permeabilidade destes solos é relativamente baixa, inferior a 10^{-4} cm/s.

O maciço rochoso apresenta rocha medianamente decomposta e medianamente a extremamente fraturada até 16 m de profundidade. A partir daí a rocha é sã ou pouco decomposta e pouco fraturada. Até 16 m de profundidade o maciço apresenta perdas d'água unitárias superiores a 10 Hv, sendo estanque a partir daí.

- Fundo do Vale

Caracteriza-se pela presença de afloramentos rochosos contínuos no leito do córrego, formando degraus e paredões subverticais onde foi constatada a presença de extensas juntas de alívio, abertas e subhorizontais. Os dados de sondagem mostram que estas juntas aparecem até cerca de 6 m de profundidade e são penetrativas em direção as ombreiras, principalmente na ombreira esquerda, sendo as causadoras das altas perdas d'água observadas.

O furo de sondagem, efetuado no leito do ribeirão, mostrou que o maciço rochoso, com exceção dos seus primeiros 5 m, é constituído por rocha sã ou pouco decomposta, pouco fraturada e apresenta baixos valores de perda d'água. Nos primeiros 5 m, a rocha apresenta passagens em que é muito fraturada, sendo as fraturas abertas causadoras de altas perdas d'água, superiores a 10 Hv.

7 - CANAL 3

O vale, no local do Canal 3, apresenta a encosta direita mais íngreme que a esquerda.

A espessura média de solo e transição solo-rocha na encosta direita é de 8 m, com valores de SPT altos, em geral, superiores a 10 golpes, mesmo nos seus horizontes superiores.

A encosta esquerda apresenta espessura média de solo e transição solo-rocha com 20 m. Apresenta, também, valores altos de SPT, superiores a 15 golpes, inclusive no horizonte mais superficial.

O fundo do vale apresenta solo colúvio-aluvionar saturado, com espessura média de 5 m.

Na região adjacente ao emboque do Túnel 2, a espessura de solo e transição solo-rocha é de aproximadamente 10 m. Sotoposto a este horizonte, ocorre um estrato de rocha

branda (muito decomposta), com espessura de aproximadamente 10 m. Abaixo deste estrato, a rocha é sã e pouco a medianamente fraturada.

8 - TÚNEL 2

O emboque a montante do túnel se faz em maciço rochoso de boa qualidade, sendo que a cobertura de rocha sã e pouco fraturada no local é de aproximadamente 18 m. No entanto, no local dos taludes do espelho do emboque aparece uma zona de rocha branda (muito decomposta), com aproximadamente 10 m de espessura. Sobrejacente a esta camada, aparece um horizonte de solo e transição solo-rocha, com aproximadamente 10 m de espessura.

No local do emboque de jusante ocorrem diversos afloramentos rochosos e depósitos de tálus no lado direito. Este depósito é constituído por blocos de até 3 m de diâmetro. O maciço rochoso, no local do emboque, é de boa qualidade, com cobertura de rocha sã ou pouco decomposta, de aproximadamente 10 m. Cerca de 5 m acima da abóboda, no emboque, aparece um trecho de 1 m de espessura com rocha muito decomposta e fraturada. Este trecho é contínuo, se aprofundando para o interior do maciço, acompanhando o perfil topográfico e se distanciando da abóbada do túnel. A camada de solo e transição solo-rocha tem, aproximadamente, 7m nas adjacências deste emboque.

A escavação do túnel se desenvolverá em maciço rochoso, predominantemente de boa qualidade. Atravessará, no entanto, dois trechos, onde se prevê que localmente a rocha será de qualidade inferior. Em ambos os trechos ocorrem selas topográficas.

No primeiro trecho, situado cerca de 350 m do emboque de montante, com aproximadamente 60 m de extensão, a cobertura média prevista de rocha sã é de 20 m. No segundo trecho, situado cerca de 450 m do emboque de montante, com aproximadamente 130 m de extensão, a cobertura média prevista de rocha sã é de 10 m. No entanto, prevê-se que em ambos os trechos poderão ocorrer passagens com rocha mais decomposta e fraturada intercaladas na rocha sã.

9 - CANAL 4

O Canal 4, na região adjacente ao emboque do Túnel 2, apresenta depósito de tálus no lado direito. Este depósito é constituído por blocos de rocha, com diâmetro até 3 m. A cobertura de solo e transição solo-rocha tem aproximadamente 10 m de espessura. O maciço rochoso a ser escavado é de boa qualidade, constituído, predominantemente, por rocha sã ou pouco decomposta e pouco fraturada. Apenas seus dois primeiros metros caracterizam-se por apresentarem rocha medianamente decomposta e muito fraturada.

Nos primeiros 200 m do canal, após o trecho anterior, as encostas apresentam cobertura média de solo e transição solo-rocha da ordem de 10 m e afloramentos rochosos esparsos aparecem no fundo do vale.

Após a inflexão do canal para a direção nordeste, as encostas apresentam características diferentes das anteriores. Na encosta direita existe uma cicatriz de escorregamento de pequenas dimensões e um outro provável escorregamento, de maior porte, cuja massa instável com espessura de até 8 m, permanece toda na encosta. O volume calculado desta massa remanescente é de aproximadamente 10.000 m³, atingindo até 30 m de espessura nas suas partes mais espessas. Os resultados de SPT obtidos mostram

valores altos, maiores que 10 golpes. No entanto, em pontos localizados do solo residual jovem, onde este se apresenta mais rico em caulim e mica, ocorrem valores baixos de SPT, em torno de 3 golpes.

A encosta esquerda apresenta espessura média de solo e transição solo-rocha da ordem de 10 m, atingindo 20 m nos locais mais espessos. Os valores de SPT obtidos são altos, maiores que 10 golpes.

No fundo do vale ocorre solo colúvio-aluvionar saturado, com espessura aproximada de 5 m.

10 - SOLEIRA GALGÁVEL DE LOURIÇAL

Localiza-se num talvegue que se prolonga até o vale do rio Paraíba do Sul. O talvegue apresenta, a cerca de 250 m da margem direita do Canal 4, um ponto mais elevado (El. 266,0 m), onde será implantada a Soleira Galgável. Este local constitui-se em um divisor natural dentro do talvegue.

Na parte jusante do talvegue, a declividade é maior e, a cerca de 100 m do local de implantação da Soleira, ocorrem afloramentos rochosos em forma de degraus.

No local da Soleira, a espessura de solo e transição solo-rocha é de aproximadamente 12 m.

A resistência deste horizonte é alta, com valores de SPT superiores a 10 golpes, com exceção do topo do solo residual jovem (cerca de 1 m de espessura), que apresenta SPT igual a 6 golpes. As permeabilidades obtidas se situam na faixa de 10^{-4} e 10^{-5} cm/s.

O substrato rochoso, no local da implantação da Soleira Galgável, é constituído por rocha pouco a medianamente decomposta, pouco a muito fraturada. A condutibilidade é inferior a 1,0 Hv.

As encostas do talvegue apresentam indícios de rastejamento.

11 - DIQUES DE LOURIÇAL

Fazem parte do conjunto de barramento o Dique 1, de maior porte, situado no vale do córrego da Areia; o Dique 2, situado numa sela topográfica, no lado esquerdo do barramento principal; e um morro entre estes dois diques, que funcionará também como um maciço de barramento.

- Dique 1

- ✓ Ombreira Direita

Tem espessura média de solo e transição solo-rocha de aproximadamente 15 m. Os valores de SPT neste horizonte são altos, geralmente superiores a 10-15 golpes. Os maiores valores de permeabilidade obtidos se situam na faixa de 10^{-4} a 10^{-5} cm/s e ocorrem na camada de solo residual jovem.

- ✓ Ombreira Esquerda

Esta ombreira se situa na encosta do morro citado.

Tem espessura média de solo e transição solo-rocha da ordem de 20 m, atingindo em alguns pontos até 28 m.

Os valores de SPT são superiores a 10 golpes, atingindo valores superiores a 50 logo nos primeiros 4 a 5 metros. As maiores permeabilidades se situam na faixa de 10^{-4} a 10^{-5} cm/s.

✓ Fundo do Vale

O vale tem uma largura aproximada de 70 m no seu ponto mais estreito e é recoberto por solo aluvionar, com espessura aproximada de 3 m, que se assenta sobre aproximadamente 2 m de transição solo-rocha.

Alguns afloramentos rochosos esparsos são observados no leito do córrego.

O topo rochoso se situa a uma profundidade aproximada de 4 a 5 m.

O maciço rochoso é constituído por rocha medianamente decomposta, até aproximadamente 10 m de profundidade, e por rocha pouco decomposta a partir daí. De maneira geral, a rocha é medianamente a muito fraturada até 31 m.

Os ensaios de perda d'água efetuados mostraram que o maciço rochoso apresenta trechos com condutividade hidráulica superior a 1 Hv até cerca de 14 m de profundidade, principalmente na margem esquerda. Abaixo desta profundidade o maciço mostrou-se estanque.

• Dique 2

As ombreiras apresentam espessura média de material terroso com cerca de 7 m, valores de SPT superiores a 10 golpes e permeabilidades inferiores a 10^{-5} cm/s.

O substrato rochoso encontra-se a aproximadamente 7 m de profundidade nas ombreiras e a 5 m no fundo da sela. É constituído por rocha sã e pouco fraturada, sendo o maciço rochoso estanque em termos de condutividade hidráulica.

✓ Morro Entre os Diques 1 e 2

Apresenta uma espessura de solo e transição solo-rocha, na sua parte mais alta, de aproximadamente 25 m. Estima-se que as condições de resistência e permeabilidade sejam semelhantes às dos horizontes terrosos presentes no local dos Diques 1 e 2. No entanto, deve-se ressaltar que as sondagens indicaram que o contato entre a transição solo-rocha e o substrato rochoso é muito permeável (maior que 10^{-3} cm/s).

O substrato rochoso é constituído, nos seus primeiros 5 m, por rocha branda e, de 5 a 8 m, por rocha medianamente decomposta e muito fraturada. A partir daí, é sã e muito pouco fraturada.

Estima-se que os primeiros 5 m do maciço rochoso tenham condutividade superior a 5 Hv. Não foi efetuado ensaio de perda d'água neste trecho devido à dificuldade de obturação dos furos. Abaixo de 5 m, a condutividade se situa na faixa de 1 a 5 Hv.

✓ Túnel de Desvio

O túnel de desvio é escavado em maciço com diferentes qualidades geomecânicas, que variam desde pobre (solo) até excelente (rocha sã).

A região próxima do emboque montante (primeiros 15 m) apresenta cobertura de rocha sã inferior a 3 m. A partir daí, por 147 m, se desenvolve com cobertura de rocha sã superior a 3 m, com média de 8 m. No trecho seguinte, cerca de **6 m**, a cobertura de rocha sã é inferior a 3 m, desaparecendo no final do mesmo. No trecho final (jusante), de cerca de 50 m, o túnel é escavado em rocha sã a muito decomposta, transição solo-rocha e solo. O nível d'água, neste último trecho, se situa aproximadamente 1 m abaixo da elevação prevista para o topo da abóbada do túnel.

Para o suporte das escavações, está prevista a utilização de ancoragens eventuais ou sistemáticas e/ou concreto projetado e/ou tela metálica e/ou cambotas metálicas, dependendo da classe do maciço rochoso a ser escavado.

Prevê-se também a consolidação do maciço na região da frente de escavação, na parte jusante do túnel, onde a cobertura é constituída por solo. A consolidação deverá ser feita com uso de enfilagens tubulares injetadas.

12 - ÁREA 5

É constituída por um vale estrangulado com dois escorregamentos na encosta esquerda. Num deles a massa envolvida é de aproximadamente 40.000 m³ e parte dela ainda se encontra no corpo do escorregamento. A espessura desta massa instável remanescente é de aproximadamente 8 m.

No restante da encosta esquerda, a espessura média do solo e transição solo-rocha é aproximadamente 20 m, podendo atingir até 30 m nas elevações maiores. Valores baixos de SPT, inferiores a 10 golpes, são encontrados até aproximadamente 13 m de profundidade, principalmente nas proximidades das massas escorregadas.

No solo residual jovem, são comuns as ocorrências de bolsões caulínicos e/ou micáceos, descontínuos e com baixa resistência SPT.

A base dos escorregamentos se situa na porção superior do solo residual jovem.

A encosta direita apresenta três grandes voçorocas e vários outros locais com processos erosivos incipientes, além de rastejamento dos horizontes superficiais.

A espessura média estimada da camada de solo e transição solo-rocha é 15 m, atingindo até 30 m nos pontos mais altos.

Valores baixos de SPT, inferiores a 10 golpes, ocorrem até 8 m de profundidade, inclusive no solo residual jovem. Este solo, como na outra encosta, é muito caulínico e micáceo.

13 - CANAL 5

- Canal 5 - Parte 1

Apresenta espessuras de solo e transição solo-rocha até 40 m. Os valores de SPT são normalmente superiores a 10 golpes.

Grandes voçorocamentos ocorrem na região central do maciço a ser escavado.

No lado direito do maciço, adjacente a uma das voçorocas, aparece uma porção de solo em processo de escorregamento. O volume instável é cerca de 10.000 m³ e faz parte das escavações obrigatórias do canal.

Sotoposta aos horizontes de solo, ocorre camada de rocha branda com espessura observada de cerca de 15 m. Este horizonte é contínuo em toda a área do canal e suportará parte dos taludes escavados em rocha.

O fundo do vale, nas porções inicial e final do canal, apresenta acúmulo de solo colúvio-aluvionar argiloso, saturado, com espessura média de 6 m.

- Canal 5 - Partes 2 e 3

Situam-se a jusante da Parte 1, tendo pequeno porte e características geomecânicas semelhantes entre si.

Na margem direita, ambas as partes apresentam espessuras médias do horizonte terroso de aproximadamente 10 m.

Na margem esquerda, ocorrem “línguas” de material transportado formando uma quebra topográfica na inclinação da encosta. Estes depósitos apresentam espessuras de até 20 m.

14 - DIQUES ESTACAS 1 E 2

- Dique Estaca 1

Este dique se destina a fechar uma pequena sela topográfica, com altitude inferior a 260 m, existente a oeste do dique Estaca 2.

O local foi objeto de estudos anteriores, realizados por FURNAS. Foram ali executadas algumas investigações de subsuperfície, a saber: as sondagens rotativas SR-12 A a SR-15 A, as sondagens mistas SMV-70, SMV-71 e a sondagem a percussão SPV-77.

A sondagem SR-13 A revela que o capeamento de solo se restringe a cerca de 6 m no ponto mais baixo da sela, porém, as demais sondagens mostram que o mesmo ganha gradativamente espessura, a medida que a topografia se eleva, até atingir cerca de 12 m na SR-12A.

Na atual fase de estudos, não foram programadas investigações na área do dique Estaca 1, face o volume de informações já existentes.

- Dique Estaca 2

O córrego Ouro Fino, afluente do rio Paraíba do Sul pela margem esquerda, mantém com este uma condição de paralelismo, excetuando-se os últimos 500 m, quando o curso do córrego inflete bruscamente rumo a sudeste, desaguando no referido rio.

O dique Estaca 2 se situa no trecho terminal do vale do córrego Ouro Fino, no mesmo local em que foi cogitada a implantação de uma barragem durante trabalhos anteriores realizados por FURNAS, em 1987.

No local previsto para o dique, a calha do córrego cruza uma série de soleiras rochosas, configurando uma sequência de pequenos degraus. Estas soleiras estão alinhadas com a foliação do substrato rochoso gnáissico local, de direção geral N70E e mergulho das camadas compreendido entre 60° e 80° rumo noroeste. Desta maneira, o eixo do dique Estaca 2 se situa praticamente paralelo à foliação, sendo este aspecto favorável no que diz respeito às condições de percolação d'água pela fundação do dique, dificultadas pela atitude das camadas geológicas.

Em ambas as ombreiras, uma estrada de terra se desenvolve à meia encosta, tendo sido seu leito escavado nos solos colúvio-residuais superficiais. As duas ombreiras diferem, entretanto, quanto aos aspectos fisiográficos.

A ombreira direita é retilínea e possui declividade acentuada, em torno de 35° para todo o intervalo de cotas de interesse. Ao longo dela, o extenso e alto corte acima do piso da estrada evidencia inúmeros sinais de instabilidade, como cicatrizes de escorregamento, sulcos de ravinamento e ressurgências localizadas de água. Pequenos cones aluviais, no piso da estrada e em patamares mais baixos, próximos ao fundo do vale, atestam o efeito de arraste pelas águas pluviais durante a ocorrência de enxurradas.

A ombreira esquerda não é retilínea e apresenta um ponto de estrangulamento do córrego, onde foi implantado o eixo do dique. Possui forte declividade em sua porção inferior, com cerca de 55° nos primeiros 20 m de desnível mas, a seguir, a ombreira se torna mais suave, com inclinação em torno de 20°. Ao longo desta ombreira, os cortes para implantação da estrada não são tão altos e não parecem ter acarretado processos de instabilização no capeamento de solo colúvio-residual, embora este seja tão espesso nesta ombreira quanto na outra. Esparsas ressurgências d'água foram também verificadas ao longo da estrada. Blocos de rocha, configurando pequenas massas de tálus, se acumulam junto ao sopé da encosta.

As investigações feitas em 1987, consistindo de três sondagens rotativas (SR-9, SR-10 e SR-11) e quatro sondagens a percussão (SP-01, SP-02, SP-09 e SP-11), confirmaram a presença de um horizonte de solo colúvio-residual maduro, com espessura que alcança e supera a dezena de metros, seguido por outro horizonte de solo residual jovem, com espessura semelhante. Os dois horizontes se espessam à medida que a topografia se eleva.

Os valores de resistência à penetração encontrados nos ensaios SPT, no horizonte colúvio-residual maduro, não são coerentes entre uma sondagem e outra. Na SP-02, no alto da ombreira direita, os valores oscilam entre 3 e 10 golpes, enquanto na SP-09, na meia encosta esquerda, variam entre 7 e 23 golpes e na SP-11, aberta na meia encosta direita, atingem valores entre 15 e 33 golpes. Esta discrepância de resultados atesta a heterogeneidade deste horizonte que, numa avaliação táctil-visual, aparenta ser homogêneo. A explicação parece residir nas diferenças litológicas existentes entre

camadas rochosas contíguas, de atitude subvertical, ora mais ricas em quartzo, ora em micas ou feldspatos que, ao final do processo de intemperização, resultam em solos diferenciados.

Os resultados dos ensaios de perda d'água sob pressão, feitos no interior do maciço rochoso (SR-09 e SR-11), revelaram valores de permeabilidade baixos, na casa de 10^{-4} a 10^{-5} cm/s. Nessas duas sondagens, o nível do lençol freático era bastante profundo, situando-se pouco acima do topo da rocha, no interior do horizonte de solo residual jovem.

Na atual fase de trabalho foram programadas duas trincheiras, dois poços de inspeção, duas sondagens mistas e duas sondagens a percussão.

15 - CANAL 6

O canal de aproximação ao túnel 3 se situa ao longo de uma encosta com declividade acentuada, onde ocorrem esparsos afloramentos rochosos, entremeados a acúmulos de blocos e massas de solo colúvio-residuais contendo blocos. O emboque do túnel ocorre perpendicularmente às curvas de nível, no rumo aproximado N10E e o eixo do túnel forma um ângulo de 60° com a direção da foliação (N70E).

O canal tem 20 m de largura basal e se estende por cerca de 100 m, de início com piso na El. 240,00 m e a seguir mergulhando para a El. 235,00 m.

Foram programadas e executadas, nesta área, duas sondagens mistas, SM-6 (24 m de profundidade) e SM-7 (26,00 m) e duas sondagens a percussão, SP-14 (4,51 m) e SP-15 (7,80 m).

Estas revelaram a presença de um horizonte superficial de solo colúvio-residual maduro, com 3 a 4 m de espessura, constituído por silte arenoso, pouco argiloso, avermelhado, com valores de resistência à penetração entre 10 e 25 golpes, passando para solo residual jovem cinzento ou cinza-amarelado, silto-arenoso e com valores de SPT extremamente variáveis, devido à presença de intercalações com fragmentos rochosos e matações. O horizonte de solo residual jovem avança até cerca de 10 m de profundidade, quando cede lugar ao substrato rochoso, de início muito alterado e fraturado, passando para rocha sã.

O substrato rochoso é constituído por biotita-gnaise, com foliação vertical a sub-vertical. Fraturas sub-horizontais aparecem mais intensamente nos primeiros metros, no horizonte de rocha intemperizada. As sondagens detectaram, também, passagens friáveis, com recuperação ausente ou muito baixa. Em coincidência com estas passagens, os ensaios de perda d'água sob pressão podem revelar características de condutividade hidráulica elevada, até mesmo perdas totais de água. No interior do maciço são, entretanto, as perdas d'água inexistentes e o maciço se apresenta com excelentes características geomecânicas.

As duas sondagens mistas não detectaram a presença do lençol freático, apesar de alcançarem profundidade de até 26 m, o mesmo ocorrendo com as duas sondagens a percussão, estas rasas.

De posse dos resultados do mapeamento geológico de superfície e dos resultados das sondagens, julgou-se conveniente fixar o local do emboque cerca de 150 m a leste da área coberta pelas sondagens, em busca de um local com menor cobertura de solo. Esta nova locação deve, entretanto, ser confirmada por investigações de sub-superfície, tendo-se para isso programado a realização de duas novas sondagens mistas, duas a percussão e uma rotativa.

16 - TÚNEL 3

Logo após o emboque, o eixo do túnel se curva rumo a leste, buscando uma situação de paralelismo com a extensa dorsal topográfica que deverá servir de cobertura em toda sua extensão. Cerca de 500 m após o emboque, esta condição de paralelismo é alcançada, no rumo N70E, que coincide com o alinhamento da foliação gnáissica.

Esta dorsal topográfica recebe o nome de Serra da Boa Vista e segue o alinhamento dominante em todo o vale do rio Paraíba do Sul, onde as principais formas de relevo, sejam talwegues de rios e córregos ou saliências topográficas, obedecem a uma condição de paralelismo imposta pela estruturação geológica regional.

Ao longo do traçado do túnel, a cobertura é, em termos gerais, espessa, pois o túnel se desenvolve com piso entre as elevações 235,00 m (emboque) e 232,00 m (desemboque), enquanto as cumeadas ocorrem quase sempre acima da elevação 350,00 m, freqüentemente superando os 400 m de altitude.

Ocorrem, entretanto, algumas selas topográficas. A primeira se situa cerca de 600 a 700 m após o emboque, na elevação 295,00 m. Duas outras selas de menor expressão se encontram mais próximas ao desemboque, nas elevações 327,00 m e 333,00 m (dados obtidos da planta de restituição aerofotogramétrica na escala 1:10.000, com controle barométrico). Estas selas parecem coincidir com lineações geológicas de desenvolvimento aproximado Norte-Sul.

No local da primeira sela, a que apresenta o menor recobrimento do túnel, foi executada a sondagem rotativa SR-13, inclinada 30⁰ rumo ao sul, que alcançou a profundidade de 21 m. De início, ela atravessou um depósito de solo aluvionar, com espessura de 1,2 m, coincidente com um pequeno reservatório natural, para em seguida entrar no maciço rochoso são, até a profundidade final de 21 m. Assegura-se, assim, a boa qualidade do material de cobertura neste ponto.

A extensão total do túnel é de aproximadamente 6.040 m. A cerca de 1.000 m do desemboque, o eixo do túnel começa a mudar de direção e assume o rumo sudeste. Nos últimos 500 m, o rumo é S64E.

Os dados disponíveis indicam que o maciço é de boa a excelente qualidade, com exceção do trecho superficial de amplitude métrica, podendo-se prever que as condições de escavação serão favoráveis para a seção em arco-retângulo escolhida.

O padrão predominante de descontinuidades, paralelo à foliação subvertical e paralelo ao eixo do túnel em sua maior extensão, deverá propiciar boas condições de estabilidade. Por outro lado, este mesmo padrão favorece uma seção alongada no sentido vertical, fato que poderá levar a uma otimização da mesma em ulterior etapa de projeto.

Dadas as dimensões do túnel, será necessária a escavação em seções parcializadas, com calota e bancadas. Deverá ser utilizado fogo cuidadoso nos contornos e avanços iniciais da ordem de 3 a 4 m no desenvolvimento e 1,5 m nos emboques, estimando-se uma sobre-escavação pequena, em virtude do referido paralelismo do eixo do túnel com a foliação.

Embora o recobrimento vertical em rocha atinja algumas centenas de metros, visto que o túnel se desenvolve acompanhando o eixo de uma extensa e alta dorsal topográfica, o fato desta dorsal estar desconfinada em suas faces norte e sul reduz a probabilidade de aparecimento de fenômenos de descompressão brusca, ainda que isso não elimine a possibilidade de sua ocorrência.

17 - CANAL 7

O canal de desemboque do túnel 3 se localiza na extremidade oeste de um pequeno vale onde se encontra o córrego do Simplício. O vale se desenvolve segundo o já referido alinhamento regional N70E.

No local do canal encontra-se uma extensa laje de rocha gnáissica, de foliação sub-vertical, que não configura um paredão rochoso íngreme, mas se eleva gradativamente, rumo a um alto topográfico com cume na elevação 428,00 m. A cobertura de solo é descontínua e irregular.

Devido à baixa declividade da encosta, o canal que se segue ao desemboque é bastante extenso, cerca de 160 m. O canal possui largura basal de 20 m e se desenvolve em dois níveis, na elevação 232,00 m junto ao portal e na 237,00 m em seu tramo de menor altura de corte. O corte em rocha tem paredes próximas da vertical (inclinação de 1H:10V). Na parte superficial do corte, a espessura máxima do horizonte de solo foi estimada em 10 m.

Foram executadas nesta área três sondagens rotativas, SR-9 (20,00 m de profundidade), SR-10 (20,00 m) e SR-11 (26,00 m). Estas confirmaram as observações visuais a respeito da cobertura de solo e revelaram que o capeamento de solo coluvionar, somado ao residual maduro, varia em espessura entre os 2,5 m da SR-9 e os 7,0 m da SR-11. A seguir, encontra-se o horizonte de solo residual jovem, com espessura variável entre 1 e 6 m, que transiciona para rocha alterada, seguindo-se a esta o maciço são. A espessura do horizonte de rocha alterada também varia bastante, entre pouco mais de 1 m na SR-9 e os 4,5 m da SR-10.

O maciço rochoso é constituído por gnaisse são, com foliação mergulhando 70° a 75° para norte, com poucas discontinuidades. Ensaio de perda d'água sob pressão feitos no trecho em rocha resultaram em valores baixos de permeabilidade, freqüentemente em valores nulos.

As informações resultantes das investigações de sub-superfície e do mapeamento geológico superficial acarretaram o deslocamento do local do desemboque cerca de uma centena de metros mais para norte, em busca de melhores condições de cobertura e de um encurtamento do canal. Foram então programadas novas investigações, consistindo em duas sondagens a percussão e uma sondagem mista.

18 - DIQUE ANTONINA

Este dique se situa ao longo do córrego do Simplício, a pequena distância da sede da Fazenda Santa Antonina. O eixo do dique, com extensão pouco inferior a 400 m, se dispõe paralelamente à já referida direção regional predominante e liga entre si duas ombreiras também alinhadas no mesmo sentido.

No leito do córrego, são visíveis afloramentos de rocha sã, com o mesmo alinhamento do eixo e mergulho em torno de 70° a 75° para norte, o que constitui um aspecto favorável para o barramento. Em seu ponto de inflexão para sudeste, o córrego apresenta uma soleira rochosa que configura uma seção de controle e que ocasionou o aparecimento de uma pequena planície do lado montante, com largura de algumas dezenas de metros e extensão de algumas centenas. Nesta planície foram observados solos colúvio-aluvionares argilo-arenosos, de coloração avermelhada e amarelada, mas não se exclui a possibilidade de ocorrência de solos aluvionares típicos, encobertos pelos colúvionares. Esta possibilidade deve ser objeto de investigação futura.

Nas encostas, as observações de superfície consubstanciadas por uma série de investigações confirmam a existência de solos colúvio-residuais configurando um espesso manto de intemperismo.

Uma particularidade local consiste na presença de uma elevação menor, de aspecto arredondado, em forma de meia laranja posicionada entre as duas ombreiras, cuja cota maior alcança a elevação 245,00 m e deverá ser integrada ao barramento.

Esta elevação apresenta, em sua face voltada para leste e adjacente ao córrego, sinais inequívocos de movimentação do capeamento de solos superficiais. Trata-se de elementos semelhantes aos que já foram descritos para o dique Estaca 1, a saber, cicatrizes de escorregamentos, ressurgências d'água e sulcos de ravinamento.

A área tem sido investigada através de mapeamento geológico de superfície, sondagens rotativa, sondagens a percussão e poços de inspeção.

Na área do dique foram abertos dois poços, PI-7 (6,00 m de profundidade) e PI-8 (3,50 m), o primeiro na ombreira esquerda e o segundo na sela topográfica entre a ombreira direita e a elevação que vai ser englobada pelo dique. O poço PI-7 apresentou um perfil de intemperismo padrão.

O PI-8 exibiu o nível d'água na profundidade de 3,50 m, o que impediu o seu prosseguimento. Este foi o único poço que alcançou o nível freático, dentre todos os que foram abertos na região do projeto e, por possuir posição topograficamente elevada, ocupando uma sela, deu margem a especulações sobre a origem da água.

Entende-se que a recarga do lençol freático local ocorre a partir da elevação em que se engasta a ombreira direita do dique, em altitudes mais elevadas, por ocasião de episódios de chuva. Uma rede de percolação subterrânea d'água, confinada pela estrutura geológica peculiar (a foliação é sub-vertical) se estabelece paralelamente ao eixo do dique (segundo o rumo N70°E), convergindo para o talvegue do córrego Antonina e aflorando junto à sua margem direita, a pequena distância dos afloramentos de rocha que lá existem.

O nível d'água no poço PI-8 nada mais é, portanto, do que a expressão da superfície livre desta rede de fluxo confinado lateralmente, em correspondência à sela topográfica.

Pode-se atribuir a esta mesma rede de fluxo a ocorrência dos escorregamentos identificados junto à margem direita do córrego Antonina, ao longo da encosta descrita, testemunhados pela presença de cicatrizes que alcançam cerca de 20 m de altura (relativamente à posição do córrego) e uma centena de metros de extensão no sentido montante-jusante. A rede de fluxo, ao se aproximar da superfície do terreno, exerce pressões sobre o capeamento de solo menos permeável instabilizando-o.

Esta peculiaridade, representada pelo estabelecimento de uma rede de fluxo no sentido paralelo ao eixo do dique, se reflete no projeto por dois motivos:

- a área de recarga da rede de fluxo, topograficamente elevada, pode induzir na fundação do dique, pressões de percolação superiores às que são provocadas pelo próprio nível do reservatório e;
- pode ocorrer concentração de vazões d'água na área onde hoje aflora a rede de percolação, junto à margem direita do córrego Antonina, devido a sua posição topográfica baixa.

Foram executadas na área do dique Antonina, além dos dois poços já referidos, as sondagens a percussão SP-12 (ombreira direita, 18,00 m de profundidade) e SP-13 (ombreira esquerda, 20,73 m de profundidade), a sondagem rotativa SR-8 (15,00 m) e a sondagem mista SM-3 (39,00 m).

As duas sondagens a percussão, embora acusando espessuras semelhantes na cobertura global de solos colúvio-residuais, revelaram algumas discrepâncias. Na SP-12, o solo colúvio-residual maduro alcança 5 m de espessura, enquanto na ombreira esquerda a SP-13 exhibe o dobro desta espessura para o mesmo horizonte. Mais significativa ainda é a discrepância entre valores de resistência ao SPT entre as duas sondagens. Enquanto na SP-12 os valores oscilam sistematicamente entre 15 e 25 golpes, na SP-13 caem para o intervalo de 5 a 15 golpes.

Já, no horizonte de solo residual jovem, os valores na SP-12 são levemente superiores aos da SP-13, embora todos se situem acima de 15 golpes. Estas discrepâncias, tal como descrito ao se analisarem os dados das sondagens feitas no dique Estaca 1, devem ser atribuídas à herança que os solos receberam a partir da constituição petrográfica e mineralógica da rocha "mãe". Isso mostra que a homogeneidade exibida pela análise-visual-táctil dos solos em amostras, e mesmo em paredes de poços, não encontra contrapartida nos resultados do teste de SPT. Esta constatação atesta a importância dos ensaios aos fins de definição das características de resistência dos materiais que constituem o manto de intemperismo local.

A sondagem rotativa SR-8 foi executada no local da seção de controle, a partir do afloramento de rocha que lá ocorre, inclinada 30^o no azimute 140^o e revelou em toda a extensão (15 m) um maciço gnaissico são (D1/C1), de coloração clara, com predominância de quartzo e feldspato e juntas esparsas e fechadas (F1). A 0,80 m de profundidade ocorreu perda d'água de circulação, correspondendo a uma junta aberta e oxidada.

Já a SM-3, sondagem vertical, feita no alto da elevação menor referida, revelou um manto intemperizado até 18 m de profundidade, sendo que, destes, os últimos 7 m definiram um horizonte de transição solo-rocha. O restante da sondagem (até 39,00 m) atravessou o maciço rochoso, um gnaisse bandeado pouco decomposto (D2) e consistente (C2), com

trechos esparsos oxidados e fragmentados. Nos 5 m finais, a rocha se apresenta sã (D1) e muito consistente (C1).

Em sua maioria, as descontinuidades se apresentam abertas e oxidadas, embora parte ponderável dos ensaios de perda d'água sob pressão tenha acusado valores baixos ou nulos de vazão. Uma perda total d'água de circulação foi detectada no horizonte de transição solo-rocha, a 11,55 m, outra no interior da rocha, a 27,05 m, entre trechos de ensaios de absorção nula.

Pode-se atribuir o nível significativo de alteração/fraturamento do maciço desta elevação ao fato da mesma ocorrer isolada e desconfinada em quase todos os flancos, exposta à atuação livre dos agentes de intemperismo. Neste contexto, a elevação constitui um meio que pode ser considerado drenante, para fins do projeto de barramento.

Para um adequado detalhamento do projeto, a fase ulterior de estudos deve prever a realização de algumas investigações adicionais, voltadas para melhor definição das características de suporte e permeabilidade dos materiais de fundação. Estas consistem em seis sondagens mista, convenientemente distribuídas.

19 - CANAL 8

Após superar o vale do córrego Antonina, a continuidade do empreendimento rumo a jusante passa pela abertura de um canal, em uma sela topográfica que atinge a altitude 275,00 m.

Considerando-se a cota de fundo do canal como sendo 240,00 m e considerando-se, ainda, a declividade das encostas naturais em que o canal deve ser aberto, particularmente a do lado norte, deduz-se que os taludes de escavação poderão atingir até cerca de 60 m de altura do lado direito hidráulico (sul) e até cerca de 80 m do lado oposto (norte).

A espessura do manto de alteração, inferida de início por observações visuais nas encostas e confirmada, posteriormente, por meios diretos de investigação em sub-superfície, deixa entrever problemas relacionados com a estabilidade dos taludes remanescentes, parcialmente escavados em solos residuais jovens, ou em horizontes de transição e rochas intemperizadas, devido a sua grande altura.

A possibilidade, entretanto, de aproveitamento dos materiais, tanto dos escavados quanto dos remanescentes nas encostas adjacentes ao canal, para a construção dos diversos diques, leva a uma redução na altura dos taludes finais, pois a área em torno do canal passa a ser encarada como empréstimo.

Desta forma, baseado nos estudos de balanceamento dos materiais envolvidos no processo construtivo, prevê-se para o lado sul do canal, o arrasamento do terreno na elevação 271,00 m que limitará a altura dos cortes a, no máximo, 30 m.

A área do canal tem sido objeto de investigações de sub-superfície, consistindo em três sondagens mista verticais (SM-1, SM-4 e SM-5), duas sondagens rotativas (SR-6 e SR-12) e dois poços de inspeção (PI-5 e PI-6).

As sondagens mistas mostraram que o perfil de intemperismo é extremamente espesso. Nas três sondagens, o manto de material intemperizado varia entre os 32m da SM-1, os 47 m da SM-4 e os 47 m da SM-5. O topo rochoso é alcançado nas altitudes 243,50 m (SM-1, centro do canal, profundidade final de 48,00 m), 248,20 m (SM-4, lado sul, profundidade final de 52,77 m) e 250,20 (SM-5, lado norte, profundidade final de 54,00 m). Observa-se, assim, que o topo rochoso acompanha as mudanças na topografia, embora de forma muito atenuada.

Prepondera no perfil de intemperismo um material residual jovem, silto-arenoso, acastanhado, por vezes avermelhado e variegado. Algumas estruturas da rocha de origem podem estar preservadas. A partir de 5 ou 6 m de profundidade, superado o horizonte de solo colúvio-residual maduro, os valores de SPT se situam sistematicamente acima de 20 golpes, frequentemente maiores que 30 golpes.

Os ensaios de permeabilidade, somente feitos nos trechos em rocha dos furos de sondagem, mostram valores baixos de condutividade hidráulica intercalados a valores elevados, estes coincidindo com a presença de juntas oxidadas, na porção superficial e mais intemperizada do maciço gnáissico/migmatítico. Em maior profundidade, no maciço são, os ensaios resultam em valores nulos.

Dentre as três sondagens mistas, somente a SM-5 acusou presença de nível d'água, a 45,30 m de profundidade, coincidindo praticamente com o topo da rocha. A SM-1 acusou perda d'água de circulação nas imediações do topo da rocha, a 30,35 m de profundidade, mas não mostrou presença de água até o final da sondagem.

O horizonte superficial colúvio-residual foi investigado por meio de dois poços de inspeção, que permitiram observações diretas nas paredes. O poço PI-5 foi aberto no lado sul da sela (elevação da boca, 286,15 m) e o PI-6 no lado norte (elevação da boca, 287,98 m). O PI-5 (profundidade de 6 m) mostrou um perfil de solo colúvio-residual padrão, com solo residual maduro, argilo-siltoso, marrom-avermelhado, alcançando 4 m de profundidade, seguido por solo residual jovem, silto-argiloso, com foliação incipiente. Já, o PI-6 (profundidade de 6,0 m) expôs o mesmo perfil de intemperismo, mas evidenciou a presença de uma intensa atividade orgânica, na forma de canalículos de diâmetro pouco inferior a um centímetro e com extensão da ordem da dezena de centímetros, preenchidos por material poroso e articulados uns aos outros, fato que inexistente no PI-5.

A origem dos canalículos pode ser atribuída à ação de vermes, dos quais se encontra grande quantidade de larvas no local. Aparentemente, os vermes ingerem o solo em busca de alimento, expelindo-o na forma de grânulos, que dão origem ao preenchimento poroso. Esta atividade orgânica afeta a porosidade do solo e deve se refletir na condutividade hidráulica do meio, aumentando-a de forma acentuada.

A escavação do canal deve ocorrer, na porção mais profunda, em rocha são ou parcialmente intemperizada. A largura de base do canal é de 20,00 m e os cortes em rocha, com altura máxima de 7 a 8 m, sub-verticais. Junto ao topo da rocha a seção do canal sofre um alargamento, com bermas de ambos os lados. A seguir, as paredes de escavação sobem com inclinação 1V:1,5H, já em solo residual jovem, devendo ser protegidas em toda a altura por enrocamento, contra o arraste de partículas.

Embora o nível estático da água no canal (sem fluxo) ocorra na elevação 260,00 m, as paredes são protegidas até a elevação 263,00 m. A seguir, entre as elevações 260,00 m e 270,00 m, encontra-se uma sequência de pequenos degraus em solo residual jovem, com face íngreme (1H:4V), intercalados a patamares com 5 m de largura. Esta forma de degrau se destina a proteger o solo contra o arraste e erosão de partículas.

Resta comentar os resultados das SR-6 e SR-12, ambas feitas do lado oeste do canal. A primeira foi feita em local adjacente a uma massa de tálus, gerada a partir da encosta rochosa existente no lado norte do pequeno vale, onde ocorre um paredão rochoso contínuo, densamente vegetado em sua porção mais alta e aplainada.

A SR-6, vertical, alcança 40,50 m de profundidade e somente encontrou topo de rocha a partir de 26,30 m (elevação 248,10 m), resultado coerente com os das sondagens mista já referidas. O nível d'água foi encontrado na profundidade de 28,10 m, pouco abaixo do topo da rocha.

A SR-12, vertical, feita na vertente sul do canal, alcançou 39,40 m de profundidade e encontrou o substrato rochoso a 15,50 m (elevação 247,80). A sondagem não encontrou nível d'água. Ela também confirma a relativa horizontalidade do topo do maciço rochoso na área de interesse.

20 - DIQUE NORTE

O dique Norte impede que as águas do aproveitamento sejam vertidas para o vale do rio do Peixe, com eixo alinhado na direção NW-SE e comprimento de crista de aproximadamente 300 m.

A ombreira direita abriga uma estrada, cujos cortes exibem uma espessa cobertura de solos coluvionares e residuais. Em alguns pontos percebe-se a presença de rocha "in situ" fortemente intemperizada, com a usual atitude sub-vertical da foliação.

O ribeirão exhibe afloramentos rochosos em seu leito, ladeados por delgados depósitos de solo arenoso.

Foram programadas e executadas uma sondagem a percussão, SP-4, e um poço de inspeção, PI-4, ambos na ombreira esquerda, além de uma sondagem a percussão, SP-5 e uma sondagem mista, SM-2, ambas na ombreira direita. Foi também aberta uma trincheira ao longo da ombreira direita, aproveitando-se o corte da estrada.

O poço PI-4 (6,20 m de profundidade) revelou dois aspectos de particular interesse, relacionados com a natureza do perfil de intemperismo:

- a passagem entre o solo coluvionar e o residual maduro é de difícil identificação, uma vez que os dois tipos de solo apresentam características visuais semelhantes e inexistente discordância na transição entre um e outro;
- o processo de rastejo afeta intensamente a faixa superficial do maciço intemperizado, e as medidas de mergulho das camadas, originariamente sub-verticais, sofrem desvios acentuados, sempre rumo ao lado livre da encosta.

No caso do PI-4 o mergulho da foliação é de aproximadamente 35° para o interior da ombreira esquerda, tendo sido medido ao longo do horizonte de solo residual jovem que ocupa a metade inferior do poço.

A sondagem SP-4, feita na ombreira esquerda (22,93 m de profundidade), atravessou solos coluvionar e residual maduro até cerca de 8,50 m, passando em seguida para solo residual jovem, silto-argilo-arenoso, marrom escuro e amarelado, com valores crescentes de resistência ao SPT no sentido da profundidade. Não foi encontrado o nível d'água neste furo.

De maneira análoga, a sondagem SP-5, feita na ombreira direita, atravessou os mesmos horizontes, até a profundidade final de 13,30 m, correspondente ao impenetrável, sem ter encontrado o nível d'água.

A sondagem mista SM-2, no alto da ombreira direita, atravessou mais de 20 m de solo proveniente do intemperismo da rocha, antes de penetrar em um dique de diabásio, constituído por rocha de coloração cinza escura, afanítica, homogênea, prosseguindo até a profundidade final de 40,20 m. Aqui também não se detectou, de início, o nível d'água no furo, dias mais tarde localizado na profundidade aproximada de 27,00 m, já no interior do maciço rochoso.

A trincheira aberta na parte baixa da ombreira direita, no corte da estrada de acesso, evidencia a presença de cicatrizes de escorregamentos remontantes, desencadeados pela própria abertura da estrada.

Digna de nota é a presença de uma voçoroca na vertente norte da ombreira esquerda do dique, já em processo adiantado de evolução. Esta feição é merecedora de cuidados porque, após o enchimento do canal-reservatório, deverá representar a área de convergência das linhas de fluxo da rede subterrânea que irá se estabelecer no espesso pacote de solos colúvio-residuais identificados nesta ombreira. Estes cuidados deverão se materializar na forma de proteções contra fenômenos de arraste provocados pela ressurgência das águas.

21 - DIQUE SUL

Juntamente com o dique Norte, o dique Sul exerce a função de conter as águas que avançam em direção ao canal de adução.

A posição do dique Sul sofreu uma modificação durante o desenvolvimento dos trabalhos. De início, este dique se situava numa sela topográfica que configura um pequeno divisor de águas e seu eixo se desenvolvia na direção aproximada leste-oeste. Algumas investigações foram executadas naquele eixo (SP-1 a SP-3).

Percebeu-se, entretanto, que o canal de adução, que tinha início no estreito trecho de encosta delimitado pelos pontos de coroamento dos diques Norte e Sul, apresentava aspectos geotécnicos desfavoráveis. Vislumbrou-se, então, a possibilidade de se deslocar o eixo do dique Sul rumo a sudoeste, obtendo-se condições mais favoráveis para a implantação do canal de adução.

Embora o deslocamento tenha trazido vantagens para o arranjo, acarretou um acréscimo na extensão do eixo do dique, bem como o aumento de sua altura, visto que o dique passou a ocupar as encostas de um pequeno vale com declive acentuado para sudoeste. Ao longo da nova posição, foram feitas uma sondagem rotativa (SR-7) no fundo do vale, duas sondagens a percussão nas ombreiras (SP-6 e SP-7), além de um poço de investigação (PI-3) e uma trincheira (TR-1).

O PI-3, aberto na ombreira direita do dique, alcança a profundidade de 5,80 m e apresenta em sua metade superior solo colúvio-residual maduro, seguido por solo residual jovem. Aqui também a foliação, originariamente verticalizada, mergulha cerca de 40° para o interior da encosta. Esta característica é visível a partir do horizonte de solo residual jovem.

Na base da ombreira esquerda do dique, a trincheira TR-1 foi escavada aproveitando-se a cicatriz de um escorregamento decorrente do processo de abertura da estrada. A foliação, aqui também medida em solo residual jovem, mergulha 60° para o interior da encosta, isto é, rumo a sudeste.

As duas sondagens a percussão, feitas na ombreira direita (SP-6, com 18,39 m) e ombreira esquerda (SP-7, com 16,24 m), atravessaram os mesmos horizontes já descritos nas demais áreas. Chama novamente a atenção a ausência de nível d'água no interior dos furos. Observa-se, também, um nítido contraste em termos de resistência (SPT) entre o horizonte de colúvio-residual maduro e o de solo residual jovem, que apresenta valores de SPT da ordem de duas a três vezes superior.

A sondagem rotativa (SR-7, com 20,0 m) foi feita no talvegue do pequeno vale e encontrou o substrato rochoso a pouco mais de 4 m de profundidade, após superar solos colúvio-residuais. Inclinação 30° no azimute 150° (rumo a sudeste), perpendicularmente à direção da foliação, a sondagem mostrou que a rocha apresenta boas condições geomecânicas em toda a extensão. Os quatro ensaios de perda d'água sob pressão realizados revelaram vazões nulas. Aqui também não foi registrada a presença de nível d'água no interior do furo.

O mapeamento geológico de superfície realizado na região do dique Sul mostrou que o topo da rocha sã aflora com frequência e se situa a pequena profundidade em boa parte da área. Colocou também em evidência a presença de um acúmulo de tálus a meia encosta, do lado jusante da ombreira direita, além da existência de fenômenos de instabilização (ravinas), associados ao espesso capeamento de solos e, em geral, decorrentes da abertura da estrada que corre em declive acentuado ao longo da ombreira esquerda do dique.

Comprovou-se, também que o alinhamento do pequeno vale, coincidente com a direção regional N70E, tem origem tectônica. Os afloramentos rochosos ao longo do talvegue, mesmo quando são, exibem resquícios de uma estrutura cataclástica, seguida por recristalização.

Para detalhamento ulterior do projeto, está prevista a execução de quatro sondagens mista, duas em cada ombreira.

22 - USINA DE SIMPLÍCIO

A região é quase inteiramente coberta por colúvio e solo residual maduro. A tomada d'água, o túnel adutor e a casa de força estão inteiramente localizadas sobre essa cobertura. Parte do canal de fuga também está assentada sobre ele, assim como sobre as seqüências aluvionares do Rio do Peixe.

Um grande trecho do Ribeirão do Peixe apresenta uma exposição contínua de rocha gnáissica/migmatítica, com ângulos de mergulho das fraturas e foliação subverticais a verticais, grau de decomposição D1 e grau de consistência C1. Próximo a casa de força encontra-se um outro afloramento dessas rochas, com foliação subvertical a vertical e ângulo de mergulho das fraturas variando de 15° a 50°. Esse afloramento possui grau de decomposição variando de D1 a D3 e grau de consistência entre C1 e C3. A seguir procede-se à descrição das características geológicas e geomecânicas do canal de adução, tomada d'água, túnel adutor, casa de força e canal de fuga.

- Canal de Adução

Conforme referido no item anterior, o canal de adução sofreu uma mudança de posição durante a fase dos estudos de Viabilidade. Em seu novo posicionamento mais favorável, ele possui uma direção aproximadamente leste-oeste e extensão de cerca de 400 m. Seu início se acha definido e contido entre os pontos de engaste dos diques Norte e Sul.

O canal será aberto escavando-se uma extensa vala ao longo de uma dorsal topográfica onde se induz, por observações de superfície e pelos resultados de sondagens, a presença de um espesso capeamento de solos intemperizados. Não ocorrem afloramentos de rocha em toda a área do canal.

Considerando-se que o piso do canal se dá na elevação 240,00 m, percebe-se que, excetuando o trecho inicial, o piso se assentará em rocha por toda a extensão. A altura máxima dos cortes supera os 50 m, visto que a topografia alcança a elevação 295,00 m no topo da dorsal. Dos 50 m, cerca de 20 m deverão ser escavados em rocha.

A possibilidade de utilização dos materiais de capeamento na construção dos diques adjacentes converte o topo da dorsal em área de empréstimo, cujo fundo de caixa se situaria em torno da elevação 278,00 m. Nestas condições, reduz-se sensivelmente a altura dos cortes, que passa para 40 m no máximo.

Na etapa dos estudos de Viabilidade, as investigações de sub-superfície se concentraram na área de emboque do canal, junto ao dique Sul e na extremidade oposta, junto à tomada d'água.

No trecho inicial do canal foram executadas duas sondagens a percussão (SP-8 e SP-9), uma sondagem rotativa (SR-5) e dois poços de inspeção (PI-1 e PI-2).

O poço PI-1, feito ao longo do talude esquerdo (6,0 m de profundidade), após o horizonte de material coluvionado, apresentou um horizonte de material fortemente intemperizado, constituído por blocos de rocha com distribuição aparentemente desordenada, mas obedecendo a um alinhamento em faixas inclinadas, com mergulhos variáveis entre 30° e 64° para noroeste, isto é, para o interior da encosta. Os blocos estão imersos em uma massa de solo coluvionar, avermelhado e exibem níveis de intemperização diversos, mais

acentuados nos blocos de posição superior. Esta estrutura revela origem associada à movimentação dos blocos, a partir de sua posição “in situ”, sob efeito gravitacional.

Entende-se que o horizonte de blocos de rocha sofreu a ação de rastejo, que atingiu, generalizadamente, as camadas superficiais de todas as encostas da região. Sob efeito dos deslocamentos, os blocos abriram espaço para a deposição do material coluvionar.

O poço PI-2, feito ao longo do talude direito do canal (7,0 m de profundidade), revela a presença de solo colúvio/residual maduro até 4 m de profundidade, consistindo em argila siltosa homogênea, marrom avermelhada, seguido por silte argiloso, marrom claro a amarelado, do horizonte de solo residual jovem. O poço também registra os efeitos de rastejo ao longo do horizonte de solo residual jovem, cuja foliação mergulha 55⁰ graus para sudeste, isto é, para o interior da encosta.

As sondagens a percussão mostram que o horizonte de intemperismo prossegue até a profundidade de 12,40 m, na SP-8, e 26,16 m, na SP-9, limites das sondagens. Embora cause estranheza a discrepância na profundidade alcançada pelas duas sondagens, a análise da SR-5 (23,60 m de profundidade), perfurada ao longo do talude esquerdo do canal, a cerca de 35 m de distância da SP-8, confirma o resultado desta, tendo detectado o topo da rocha a 8 m de profundidade. A SR-5 encontrou, ainda, o lençol freático, na profundidade aproximada do substrato rochoso.

O eixo do canal se desenvolve quase paralelamente à direção da foliação da rocha gnáissica local, que possui mergulho sub-vertical. Esta condição de paralelismo é favorável aos aspectos do projeto relacionados com a permeabilidade, pois, tende a dificultar o fluxo d'água subterrâneo transversal, pelas encostas que ladeiam o canal.

- Tomada D'água

A posição da tomada d'água resulta de um compromisso entre o encurtamento máximo do túnel de adução e o encomprimento do canal de adução, resguardados os critérios de submergência da entrada da tomada d'água e de cobertura mínima de rocha para o próprio túnel.

Esta condição foi perseguida através do adequado conhecimento das condições geológicas locais. A área foi investigada pela sondagem SR-4, vertical, feita ao longo da dorsal, que revelou uma espessura de solos (coluvionar e residuais maduro e jovem) de cerca de 14 m, quando atingiu o topo de rocha fortemente intemperizado e, aos 16 m, rocha quase sã a sã. O topo da rocha compatível com a fundação das estruturas se situa próximo à elevação 258,00 m, pouco abaixo do nível d'água do canal-reservatório.

A sondagem revelou, ainda, que o nível freático se situa próximo ao topo da rocha sã. Quanto às condições de permeabilidade, detectaram-se dois pontos de perda d'água de circulação, aos 7 e aos 17 m de profundidade. Nesta última profundidade, um ensaio de perda d'água sob pressão acusou vazão elevada.

De posse dos resultados da sondagem, a tomada d'água foi posicionada o mais próximo possível da encosta que conduz à casa de força, fazendo-se uso de pequenos muros de concreto para contenção lateral do canal de adução, nos 50 m finais.

A tomada d'água se encaixa num profundo corte em rocha, que alcança a elevação 229,00 m, condição necessária para prover o túnel de adução da cobertura mínima necessária em rocha. A estrutura da tomada d'água não é do tipo autoportante e se apoia no maciço rochoso de emboque do túnel. O desnível existente entre o piso do canal de adução, na elevação 240,00 m, e o da tomada d'água é vencido por uma rampa em rocha com declividade de 2,5H:1V.

- Túnel Adutor

A adução d'água à casa de força é feita por um túnel em rocha, de seção circular, com diâmetro interno de 10,20 m. O comprimento do túnel é de, aproximadamente, 330 m.

O primeiro trecho junto à tomada d'água, com cerca de 80 m de extensão, é sub-horizontal e possui pequena cobertura em rocha, de cerca de 18 m. Em seguida, o túnel mergulha com declividade aproximada de 45⁰, por cerca de 130 m. Neste trecho, a cobertura máxima em rocha cresce para cerca de 90 m. O trecho final, junto à casa de força, se torna sub-horizontal.

Em planta, o eixo do túnel se posiciona ao longo de uma pequena dorsal que percorre a encosta. Ao longo desta dorsal foram realizadas três sondagens rotativas (SR-2, SR-2A e SR-3), com o propósito de investigar as condições de implantação do túnel e subsidiar o projeto das escavações para a casa de força.

As informações trazidas pelas sondagens mostram um maciço rochoso com características geomecânicas variáveis de ponto a ponto, indo desde rocha sã a extremamente alterada, mesmo em profundidade, o que revela a atuação intensa do intemperismo, favorecida provavelmente pelo desconfinamento da dorsal em três vertentes.

As sondagens SR-2 e SR-2A, feitas praticamente a partir do mesmo local em superfície, a primeira inclinada 30⁰ no azimute 170⁰ (rumo a sudeste) e a segunda vertical, revelaram aspectos contrastantes. Enquanto a primeira atravessou, em toda a extensão, um maciço fortemente decomposto, pouco coerente e extremamente fraturado ou em fragmentos, a ponto de ser perfurada por processo de lavagem em 10 dos 33 m supostamente em rocha e ser dada por encerrada aos 40 m, quando ainda se empregava o processo de lavagem, a segunda registrou condições bem melhores, como se de outro maciço se tratasse. Quanto ao aspecto permeabilidade, a SR-2 revelou perda total d'água de circulação aos 11,40 m e aos 38,40 m. Em três trechos não foi possível realizar o ensaio, por não haver condições de obturação. Dos seis ensaios executados, quatro registraram perda total d'água. O nível d'água no furo foi encontrado aos 33 m.

Já a sondagem SR-2A (34,18 m de profundidade), atravessou um maciço inicialmente muito decomposto, passando a quase sã em profundidade, com grau de coerência variando entre C2 e C3, até passar a C1 em profundidade superior a 25 m e com grau de fraturamento variável, elevado nos primeiros 15 m em rocha e mais baixo nos restantes 10 metros. Ocorreu uma perda d'água de circulação aos 9,53 m, praticamente no topo do maciço rochoso. O nível d'água no furo foi encontrado aos 21,20 m, em correspondência a um horizonte fortemente intemperizado. Somente foi feito um ensaio de perda d'água sob pressão, no trecho terminal do furo, que registrou valores baixos de vazão.

A SR-3, feita em posição topográfica mais elevada, inclinada 30⁰ no azimute 210⁰ (rumo a sudoeste), revelou um panorama semelhante ao da SR-2A. A cobertura de solo, limitada

a 5,70 m, cede lugar a um maciço rochoso, de início extremamente alterado e pouco coerente, em fragmentos, até a profundidade de cerca de 10 m. A partir daí, melhora gradativamente a qualidade da rocha e, nos 15 m finais, o maciço aparenta características geomecânicas médias a boas. Perdas totais da água de circulação foram observadas aos 6,40 e 9,90 m de profundidade, ambas no horizonte de rocha superficial fortemente intemperizada. Não foi registrada a presença do nível d'água em toda a extensão do furo. Os sete ensaios normais de perda d'água, somados aos nove ensaios em sub-trechos, acusaram vazões médias a altas, tendo-se registrado dois casos de vazões totais, o que mostra que o maciço é de elevada drenabilidade.

O mapeamento geológico de superfície não registra a presença de afloramentos rochosos ao longo da dorsal que abriga o túnel de adução, embora afloramentos localizados possam estar presentes, encobertos pela vegetação arbustiva.

Na extremidade leste da pequena dorsal, junto ao vale do ribeirão do Peixe, um caminho de meia encosta que se desenvolve acompanhando o rio, exhibe contínuos afloramentos de gnáisse migmatítico, de foliação via de regra sub-vertical, mergulhando às vezes para o quadrante noroeste e direção predominante N70E, embora a natureza migmatítica do meio rochoso local evidencie sensíveis variações localizadas de xistosidade.

Esta área que margeia o ribeirão do Peixe constitui uma região de convergência da rede de fluxo d'água subterrânea, que se instala ao longo da dorsal que abriga o túnel de adução. Da mesma forma que em outros locais, já referidos ao longo do texto (diques Estaca e Antonina), registra-se a presença de processos localizados de instabilização da vertente, provocados tanto pela abertura do caminho quanto pela contribuição do lençol freático que lá aflora.

A escavação do túnel de adução deverá proceder de jusante rumo a montante, uma vez que a escavação da área que abriga a casa de força tenha sido completada. Os aspectos associados à escavação para a casa de força estão apresentados no item seguinte.

- Casa de Força

Situada no pé da encosta, à margem direita do ribeirão do Peixe, a casa de força teve sua localização ajustada à configuração topográfica do terreno e otimizada em função das exigências de espaço para ensecamento de um lado e de escavação ao longo da encosta, pelo outro lado.

A casa de força se situa no limite norte de uma área topográfica em forma de anfiteatro, onde se observam acúmulos de materiais detríticos provenientes das encostas, configurando massas de tálus. A área da casa de força, entretanto, está isenta de ocorrências deste tipo.

Para investigar as fundações desta estrutura foi executada a sondagem SR-1, inclinada 30° no azimute 165° (rumo a sudeste). Após atravessar cerca de 6 m de solo coluvionar e residual, encontrou um gnáisse facoidal com alternância de faixas sãs e muito alteradas, com características geomecânicas pobres, até 10,40 m. Em seguida, penetrou num maciço são e com poucas fraturas esparsas e fechadas. O nível d'água foi encontrado a 8 m de profundidade, em correspondência ao horizonte intemperizado de rocha. Ocorreram duas perdas da água de circulação, uma aos 6,30 m e outra aos 27,68 m, esta parcial. Foram realizados nove ensaios de perda d'água sob pressão em trechos normais e três

em sub-trechos. Estes ensaios indicaram que o maciço, quando são, é estanque, com exceção do trecho superficial de rocha, intemperizado, que se revelou muito permeável.

As condições de fundação da casa de força são satisfatórias. A altura do corte para engaste da casa de força na encosta que abriga o túnel de adução está prevista para cerca de 40 m em rocha, somados a cerca de 10 m em solo. Esta altura diminui acentuadamente em ambos os lados da dorsal.

Os resultados das sondagens SR-2 e SR-2A, que subsidiaram os estudos do túnel de adução, trazem também informações úteis quanto às características do extenso e alto corte para a casa de força. Percebe-se que, em seus 15 ou 20 metros superiores, o corte em rocha deverá ser provido de dispositivos de revestimento, contenção e drenagem, pois o maciço rochoso apresenta características geomecânicas pobres nesta faixa superficial.

De modo geral, as três paredes de escavação que delimitam a área da casa de força, interceptam diagonalmente a atitude da foliação (N70E, 85NW), fato que, em princípio, favorece a estabilidade das mesmas.

- Canal de Fuga

O canal de fuga acompanha o vale do ribeirão do Peixe, até as vizinhanças da forte inflexão que o vale sofre para oeste, quando este rio passa a correr paralelamente ao rio Paraíba do Sul, embora em sentido contrário. A inflexão é motivada pela presença de uma pequena dorsal alinhada no sentido leste-oeste. O canal de fuga rompe esta dorsal e deságua diretamente no rio Paraíba do Sul, em frente à ilha do Hildefonso. A extensão do canal é de cerca de 700 m.

O canal de fuga da UHE Simplício é uma obra bastante complexa. Possui dimensões notáveis, como a largura de base de 40,00 m, necessária para dar vazão a cerca de 400 m³/s. A espessura do tirante pode atingir mais de 16 m, visto que o nível d'água máximo de jusante é na elevação 153,00 m, enquanto o piso do canal se situa na elevação 136,40 m. Prevê-se a execução, ao longo do canal, de extensos e altos cortes em rocha que poderão alcançar mais de 20 m de altura e, secundariamente, em solo.

23 - ESTANQUEIDADE DOS RESERVATÓRIOS

Para a avaliação da estanqueidade dos reservatórios, no trecho entre a Barragem de Anta e o reservatório de Calçado, foi efetuada uma primeira etapa de estudos, basicamente de aerofotointerpretação, para seleção de locais que evidenciassem feições geológico-estruturais que pudessem causar fuga d'água dos mesmos. Os resultados deste estudo estão apresentados no Relatório 1.581-RE-G10-020 "Avaliação Preliminar da Estanqueidade dos Reservatórios".

Na sequência, efetuou-se, no campo, a análise dos locais selecionados na fase anterior. Verificou-se que existem dois locais potenciais, com condições geológico-estruturais que poderão eventualmente permitir fuga d'água.

O primeiro, denominado de Área E- Sítio 11 no relatório supramencionado, constitui-se numa pequena depressão semi-circular, faceando para o reservatório de Calçado, e que apresenta indícios de ligação com a drenagem do rio Paraíba do Sul. O segundo é

constituído por uma sela topográfica, a jusante da Soleira Galgável de Louriçal, e que apresenta também indícios de ligação com a drenagem do rio Paraíba do Sul.

Em novembro de 1995, procedeu-se da mesma forma, com fotointerpretação e caminhamentos de campo, para o trecho remanescente do empreendimento, compreendido entre o reservatório de Calçado e a Usina de Simplício. Nestes trabalhos constatou-se a existência de quatro selas topográficas (denominadas de A, B, 1 e 2), comentadas a seguir, com cristas variando entre as Els. 262 e 272 m, que, no entanto, não comprometem a estanqueidade dos reservatórios.

Sela A: Localizada nas coordenadas aproximadas N 7.574.060/ E 725.300, com crista na El. 262. Neste local aflora o maciço rochoso.

Sela B: Localizada nas coordenadas aproximadas N 7.574.630/ E 726.920, com crista na El. 269,827 (próxima ao Canal 8). Neste ponto executou-se a sondagem mista SM-31, que indicou um capeamento de solo coluvionar/ residual maduro de até 5 m de profundidade e um solo residual jovem até a profundidade de 23,50m, com o topo de rocha situado em torno da El. 246.

Sela 1: Localizada nas coordenadas aproximadas N 7.573.400/ E 724.760, com crista na El. 266,963, onde o maciço rochoso encontra-se aflorante.

Sela 2: Localizada nas coordenadas aproximadas N 7.573.570/ E 725.290, com crista na El.271,682. Nesta sela efetuou-se a sondagem mista SM-32, que indicou, até a profundidade de 5m, um solo coluvionar/ residual maduro e um solo residual jovem, até a profundidade de 12m, com o topo de rocha na El. 259,60.

Complementarmente, inspecionou-se encostas de morros limítrofes e a jusante dos reservatórios que pudessem representar possíveis locais de instabilidade, por ocasião de seus enchimentos, em função de sua proximidade com a linha d'água (El. 255 m).

Como resultado destes caminhamentos, detectou-se dois locais que merecem ser detalhados. O primeiro se refere a um ravinamento profundo, sem surgências d'água, na face norte do morro à esquerda do dique Norte, para o qual será realizado um projeto específico de tratamento e recomposição. O outro local se refere a um talvegue na vertente sul da Sela B, comentada anteriormente, que em decorrência de seu espesso capeamento de solo (23,50m e topo de rocha na El. 246 m) será objeto de estudos de percolação e, eventualmente, de instrumentação.

Neste contexto, cabe, ainda, destacar a presença de um escorregamento na vertente sul da sela topográfica onde será implantado o Dique Estaca 1. Pela sua proximidade com este barramento, esta feição será tratada em conjunto com o projeto do referido dique.