



**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



**INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**



*FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais*



**PROJETO SÃO FRANCISCO  
ÁGUA PARA TODOS**

**PROJETO BÁSICO DE TRANSPOSIÇÃO  
DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO  
PARA O NORDESTE SETENTRIONAL**

**EIXO NORTE – TRECHO I**

**R9 - GEOLOGIA E GEOTECNIA**

**VOLUME I**



Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco

---



*FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais*

**PROJETO BÁSICO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO  
SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL**

**EIXO NORTE – TRECHO I**

**R9 - GEOLOGIA E GEOTECNIA**

**VOLUME I**

**Dezembro/2000**

# **PROJETO TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL**

## **MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL**

### **Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica**

Ministro de Estado da Integração Nacional: Fernando Luiz Gonçalves Bezerra

Secretário de Infra-Estrutura Hídrica: Rômulo de Macedo Vieira

### **INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**

Diretor: Márcio Nogueira Barbosa

Vice Diretor: Volker W. J. H. Kirchhoff

### **FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais**

Gerente: José Armando Varão Monteiro

Coordenador: Antônio Carlos de Almeida Vidon

### **ENGEORPS/HARZA**

Coordenadores: Marcos Oliveira Godoi

Fábio Luís Ramos de Abreu

Murillo Dondici Ruiz

Brasília, dezembro de 2000.

ENGEORPS/HARZA.

Projeto Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional;  
Relatório R9 – GEOLOGIA E GEOTECNIA VOLUME I – São Paulo: ENGEORPS/HARZA,  
2000.

154 p.

1. Transposição de Águas;
2. Eixo Norte – Trecho I – R9 - GEOLOGIA E GEOTECNIA - VOLUME I

CDU - 556.5:551

FUNCATE:

Av. Dr. João Guilhermino, 429, 11º Andar – Centro

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 341 1399

Fax: (0XX 12) 341 2829

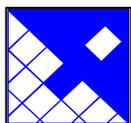
Projeto						Data	
FPB APR FBN HN TR						15/12/2000	
Verificação						Data	
						15/12/2000	
Aprovação						Data	
MOG CMN						15/12/2000	
Aprovação						Data	
MDR						15/12/2000	
Rev.	Data	Folha	Descrição	Aprovação		FUNCATE	
						Data	Aprovação
0/B	08/05/01		Formatação	MOG			

**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS  
DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O  
NORDESTE SETENTRIONAL  
PROJETO BÁSICO**

**EIXO NORTE - TRECHO I**

**R9 - GEOLOGIA E GEOTECNIA**

**VOLUME I  
Dezembro / 2000**



**FUNCATE**

*Fundação de Ciências  
Aplicações e Tecnologias  
Espaciais*

Verificação	Data
Aprovação	Data
Aprovação	Data
Código FUNCATE	Data
Substitui	Substituído
Número Empresa	Revisão
<b>261-FUN-TSF-RT-B0015</b>	<b>0/B</b>

**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O  
NORDESTE SETENTRIONAL  
EIXO NORTE – TRECHO I  
EQUIPE PRINCIPAL DO CONSÓRCIO ENGECORPS-HARZA**

- ***Coordenação Geral***
  - Marcos Oliveira Godoi
  - Murillo Dondici Ruiz
  - Fábio Luís Ramos de Abreu
  
- ***Hidráulica e Hidrologia***
  - Antônio Eurides Conte
  - Alberto Lang Filho
  - Luís Antônio Villaça de Garcia
  - Carlos Lloret Ramos
  - Flávio Tonelli Pimenta
  - Marcelo Ferreira Maximiano
  - Mauro Toscano
  
- ***Geologia e Geotecnia***
  - Claudio Michel Nahas
  - Fernão Paes de Barros
  - Ary Paulo Rodrigues
  - Andréa Cristina Parreira
  - Frederico Bohland Neto
  - Hiromit Nakao
  - Tays Ribeiro
  
- ***Levantamentos Topográficos Complementares***
  - Ivan Bustamante
  - Ualfrido Del Carlo Jr.
  
- ***Estruturas e Fundações***
  - Tetsuo Kawano
  - Flavio Rubin
  
- ***Eletromecânica***
  - Bernd Dieter Lukas
  - Coaraci Inajá Ribeiro
  - Angel Jimenez Murillo
  - José Sussumo Komatsu
  - Leonardo Cavalcanti Netto
  - José Orlando Paludetto Silva
  
- ***Planejamento e Orçamento***
  - José Armando Del Grecco Peixoto
  - Luis Edmundo França Ribeiro

---

---

**APRESENTAÇÃO**

---

---

## ***APRESENTAÇÃO***

O presente documento se constitui no Relatório R9 – GEOLOGIA E GEOTECNIA, parte integrante do PROJETO BÁSICO DO EIXO NORTE – TRECHO I, referente ao PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL, elaborado pelo Consórcio ENGEORPS-HARZA, dentro do contrato com a FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais.

O Projeto Básico do Eixo Norte – Trecho I é apresentado nos seguintes relatórios:

- R1 - Descrição do Projeto.
- R2 - Critérios de Projeto.
- R3 - Sistema de Captação no Rio São Francisco.
- R4 - Estações de Bombeamento.
- R5 - Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas D'água para Usos Difusos, Túneis e Estruturas de Controle.
- R6 - Barragens e Vertedores.
- R7 - Sistema de Drenagem.
- R8 - Topografia e Cadastramento.
- R9 - Geologia e Geotecnia.
- R10 - Estudos Hidrológicos.
- R11 - Sistema de Supervisão, Controle e Telecomunicações.
- R12 - Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional.
- R13 - Sistema Elétrico, Subestações Auxiliares e Sistema de Transmissão.
- R14 - Acessos, Vilas e Canteiros.
- R15 - Cronogramas, Orçamento e Planejamento.
- R16 - Caderno de Desenhos.
- R17 - Dossiê de Licitação.

O Relatório é apresentado em 2 volumes, sendo:

Volume I - itens 1 a 9 e anexos I e II

Volume II - anexos III e IV

**ÍNDICE**

**PÁG.**

**R9 - VOLUME I**

<b>1.</b>	<b>OBJETO E OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>GEOLOGIA REGIONAL .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>SISMOLOGIA.....</b>	<b>5</b>
<b>4.</b>	<b>INVESTIGAÇÕES E ESTUDOS ANTERIORES .....</b>	<b>6</b>
<b>5.</b>	<b>INVESTIGAÇÕES DESENVOLVIDAS .....</b>	<b>7</b>
5.1	SONDAGENS MISTAS .....	8
5.2	POÇOS MANUAIS E SONDAGENS A TRADO.....	8
5.3	TRINCHEIRAS .....	9
5.4	SONDAGENS A PERCUSSÃO.....	10
5.5	PERFILAGEM SÍSMICA.....	10
<b>6.</b>	<b>PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E FEIÇÕES DO TRECHO I.....</b>	<b>11</b>
6.1	SUBTRECHO I - TOMADA D'ÁGUA A EB-I/ 1.....	11
6.2	SUBTRECHO II- EB-I/1 A TÚNEL ANGICO.....	12
6.3	SUBTRECHO III - TÚNEL ANGICO A EB-I/2.....	12
6.4	SUBTRECHO IV - EB-I/2 A E-93+500 .....	12
6.5	SUBTRECHO V - E-93+500 A TÚNEL MILAGRES - JATÍ.....	13
6.6	SUBTRECHO VI - TÚNEL MILAGRES - JATÍ A E-137+500 .....	13
6.7	SUBTRECHO VI - E-137+500 A JATÍ .....	13
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES HIDROGEOLÓGICAS .....</b>	<b>14</b>
<b>8.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DAS ESTRUTURAS PRINCIPAIS ...</b>	<b>15</b>
8.1	ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBI-1.....	17
8.2	ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBI-2.....	18
8.3	ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBI-3.....	19
8.4	BARRAGEM TUCUTÚ .....	23
8.5	BARRAGEM TERRA NOVA.....	26
8.6	BARRAGEM SERRA DO LIVRAMENTO .....	29
8.7	BARRAGEM MANGUEIRA.....	34
8.8	BARRAGEM NEGREIROS .....	39
8.9	BARRAGEM MILAGRES.....	43

8.10	BARRAGEM JATÍ .....	48
8.11	TÚNEL ANGICO.....	51
8.12	TÚNEL MILAGRES – JATÍ.....	53
8.13	AQUEDUTO LOGRADOURO.....	58
8.14	AQUEDUTO SACO DA SERRA.....	60
8.15	AQUEDUTO TERRA NOVA.....	61
8.16	AQUEDUTO MARI.....	61
8.17	AQUEDUTO SALGUEIRO.....	62
<b>9.</b>	<b>MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO .....</b>	<b>64</b>
9.1.	CONCEITOS E PRESSUPOSTOS .....	64
9.2	RECURSOS ATUALMENTE EM EXPLORAÇÃO .....	66
9.3	RECURSOS DISPONÍVEIS .....	67
9.4	EXECUÇÃO DE POÇOS MANUAIS E COLETA DE AMOSTRAS.....	70

**ANEXO I – ESTUDO DE ESCAVABILIDADE ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DE TRINCHEIRAS**

**ANEXO II – POÇOS DE INSPEÇÃO E ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

**R9 - VOLUME II**

**ANEXO III - LOGS DE SONDAGENS**

**ANEXO IV - SEÇÕES DE REFRAÇÃO SÍSMICA**

## **1. OBJETO E OBJETIVO**

Este relatório tem por objeto o Projeto Básico da Transposição do Rio São Francisco em seu Trecho I e por objetivo, apresentar os dados resultantes das investigações geognósticas e demais informações geológico-geotécnicas resultantes dos estudos de campo e escritório.

## **2. GEOLOGIA REGIONAL**

Os mapas geológicos regionais, preparados para os estudos de viabilidade, foram baseados no Projeto RADAMBRASIL, produzidos na década de 80 e considerados como a melhor e mais elaborada informação existente a nível regional. As folhas de referência Jaguaribe/Natal e Aracaju/Recife, que englobam toda a área de interesse ao projeto, foram detalhadas em nível de mapeamento 1:250.000.

O mapa geológico regional na escala 1:1.000.000 também foi executado com base nas plantas do DNPM. Estes mapas, produzidos na década de 70, são mais simplificados e de menor preocupação estratigráfica que aqueles do projeto RADAMBRASIL, além de utilizarem terminologia atualmente em desuso para as formações geológicas.

Assim, foram preparados dois conjuntos de mapas geológicos, adaptados e modificados respectivamente do Projeto RADAMBRASIL e do DNPM, os quais propiciam uma visão abrangente da geologia regional de toda a área do projeto.

A área de interesse também é coberta por mapeamento em escala 1:250.000, oriundo do levantamento:

- Projeto de mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais, executado pelo DNPM em 1982 (folhas Juazeiro do Norte/Jardim, Salgueiro e Chorrochó/Uauá)

Estes mapeamentos não foram utilizados na confecção do mapa regional pelo fato de que, apesar de bastante detalhados e com preocupação essencialmente litológica, foram baseados em premissas que poderiam gerar incompatibilidade no ajuste das diversas folhas que compõem a área. Foram, no entanto, utilizados como base do mapeamento das faixas de obras, em escala 1:100.000 e

posteriormente, no mapeamento ao longo do traçado, na escala de 1:25.000, por sua comprovada correção no estabelecimento dos contatos geológicos das principais litologias, que é um dos fatores essenciais no mapeamento de menor escala, para os propósitos de estabelecer parâmetros geológicos-geotécnicos para o projeto.

Não houve a preocupação de reproduzir neste texto, o sumário da estratigrafia e tectônica da área, estabelecidas no projeto RADAMBRASIL, cujos conceitos e formulações têm sido, desde então, constantemente modificados.

Na fase dos estudos de viabilidade foram elaborados os seguintes trabalhos:

- a) Mapa geológico regional, folhas 1 a 4 (des. 261-FUN-TSF-A1-V0057 a V0060), baseado no Projeto RADAMBRASIL, folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal de 1981 e SC 24/25 Aracaju/Recife de 1983.
- b) Mapa geológico regional base DNPM, folhas 1 a 4 (des. 261-FUN-TSF-A1-V0142 a V0145), baseado na carta geológica do Brasil ao milionésimo, folhas JC-24 Aracaju e SO-24 Jaguaribe do DNPM/MME, 1974-1976.
- c) Mapa geomorfológico regional, folhas 1 a 4 (des. 261-FUN-TSF-A1-V0052 a V0055), baseado no Projeto RADAMBRASIL, folhas Jaguaribe/Natal e Aracaju/Recife.
- d) Mapa de sismicidade regional, folhas 1 a 4 (des. 261-FUN-TSF-A1-V0021 a V0024) e cadastro de eventos sísmicos (des.261-FUN-TSF-A1-0035), tendo por referência estrutural o Projeto RADAMBRASIL, folhas Jaguaribe/Natal e Aracaju/Recife e como subsídio técnico o rel. 261-FUN-TSF-RT-V0159, "Avaliação Sismológica para Obras Civis".
- e) Mapa de potencial hidrogeológico regional, folhas 1 a 4 (des. 261-FUN-TSF-A1-V0026 a V0029), adaptado do Projeto RADAMBRASIL, folhas Jaguaribe/Natal e Aracaju/Recife.
- f) Mapa regional de potencialidade em recursos hídricos subterrâneos, folhas 1 a 4 (des. 261-FUN-TSF-A1-V0171 a V0174), tendo por referência o arcabouço geológico-estrutural do Projeto RADAMBRASIL e produzido de comum acordo entre FUNCATE e o Consórcio ENGEORPS/HARZA.

### 3. SISMOLOGIA

A região Nordeste possui um dos maiores níveis de atividade sísmica do território brasileiro. A atividade atual referenda a incidência dos epicentros naquelas áreas historicamente sísmicas ou em suas proximidades.

O avanço do conhecimento geológico e sismológico conduziu à proposta de segregação das áreas de maior e menor atividade, denominadas de zonas sismogênicas. Tais zonas significam um primeiro passo para o estabelecimento de níveis de acelerações em área, a exemplo do Mapa das Zonas Sísmicas dos Estados Unidos da América. Elas são a unidade fundamental de estabilidade regional, agregando as seguintes informações: tipo rochoso, padrão geoestrutural, evolução geotectônica, tectônica ressurgente, neotectônica, estruturação geofísica, padrão geotermal, tensões tectônicas, características geotécnicas, parâmetros sísmicos hipocentrais principais, mecanismos focais de sismos e efeitos macrossísmicos em área.

As diversas zonas sismogênicas sugeridas para o Brasil possuem apenas alguns destes parâmetros; aqueles que mais servem aos propósitos de engenharia civil, inexistem.

A disponibilidade de dados sobre esforços tectônicos é apenas qualitativa. A porção sul da área do projeto insere-se na Zona Sismogênica de Paraguaçu, que desenvolve praticamente em terrenos arqueanos e do Proterozóico Inferior. Ela é uma das cinco zonas sismogênicas da Região Leste (Mito, 1993), centradas nos domínios rochosos do Cráton do São Francisco e que não dispõe de elementos para estudos de mecanismo focal.

Procurou-se referenciar intensidades verificadas e as suas correspondentes acelerações sísmicas nos terrenos. Alguns trechos sem registros sísmicos foram considerados com nível de III MM; outros, que possuem registros sísmicos sem informações de efeitos, foram comparados com outros eventos regionais.

A escala de efeitos macrossísmicos utilizada para esta referência, foi a da *Escala de Intensidade Mercalli Modificada, Versão 1956*, adotada em diversos estudos de obras civis. Ela se constitui na descrição dos efeitos produzidos pela passagem das ondas sísmicas nos terrenos, construções, objetos e vegetação, além das indicações de sensações em pessoas e animais, para compor seus

diferentes graus de percepção. A severidade do sismo é qualificada em termos de distúrbios e danos crescentes nas pessoas, construções e terrenos, em doze graus. Ao lado da escala de efeitos, existem outras duas referências, sobre acelerações (em  $\text{cm/s}^2$  e  $g$  = porcentagem da aceleração de gravidade) e velocidades (em  $\text{cm/s}$ ). A simples observação dos valores de acelerações e velocidades, denota o caráter logarítmico da escala de intensidades sísmicas, a mais usual no Brasil.

As obras seccionam estruturas do Lineamento de Pernambuco (direção WNW/ESE) e a Falha Boqueirão dos Cochós (SW/NE). As litologias são do embasamento cristalino. Os sismos balizadores do trecho são os de Jardim (CE) e Terra Nova (PE).

Os níveis de intensidades admissíveis para este trecho são III MM (sismo de 23/02/1968) e IV - V MM (sismo de 01/12/1993).

Para compatibilidade do projeto, admitiu-se que o nível de intensidade correlacionável à estrutura geológica (IV MM) predomina na área. Assim, os níveis sugeridos de intensidades são de IV MM. As acelerações horizontais relacionadas são de apenas 0,0013  $g$ .

#### **4. INVESTIGAÇÕES E ESTUDOS ANTERIORES**

Estudos geológico-geotécnicos foram desenvolvidos nos estudos de viabilidade de 1984, conduzidos pela Noronha Hidroterra. Estes estudos que constavam de sondagens mecânicas e manuais ao longo do traçado estudado e de áreas de empréstimo de solo foram reinterpretados e ampliados pela equipe da C.P.R.M. que conduziu os trabalhos geológico-geotécnicos do Projeto Básico de 1994.

Com a readaptação do traçado e relocação das estruturas principais, várias dessas informações tornaram-se de pouca utilidade para o projeto atual, além de terem sido desprezadas as informações de muito má qualidade, como é o caso da maioria das sondagens rotativas de 1984 ou daquelas com coordenadas duvidosas ou contraditórias.

Áreas de empréstimo de solo investigadas por meio de poços e trados, revelaram em todos os casos, espessuras inferiores a 1,0 m de solo e isto se deve

basicamente à não utilização de ferramentas mais adequadas a essa investigação.

**5. INVESTIGAÇÕES DESENVOLVIDAS**

Um programa de investigações foi estabelecido ao longo do traçado da alternativa escolhida, com previsão de execução de sondagens rotativas e a percussão, poços manuais e perfilagem de sísmica de refração.

Esta programação inicial, executada no princípio de 2.000, constou de sondagens mecânicas e abertura de trincheiras com utilização de retroescavadeira e trator D-8 provido de escarificador.

As investigações de campo foram complementadas em novembro e dezembro de 2000, com a realização de nova campanha de sondagens mecânicas, perfilagem de refração sísmica e execução de poços manuais, com retirada de amostras para ensaios laboratoriais.

As sondagens mecânicas foram preferencialmente locadas nas estruturas principais, quais sejam, estações elevatórias, aquedutos, eixos de barragens e emboques de túneis. A caracterização de alguns cortes mais expressivos em altura e extensão foi realizada por sondagens mecânicas, perfilagem sísmica ou mapeamento de campo e ainda por extrapolação de dados em compartimentos relativamente uniformes.

As tabelas 5.1 e 5.2 resumem as quantidades de investigações executadas tanto para os estudos de viabilidade como para a elaboração do Projeto Básico.

**TABELA 5.1**

<b>Investigações Realizadas nos Estudos de Viabilidade</b>		
<b>Tipo de Investigação</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Metragem Total</b>
Sondagens Mistas	17	231,22
Sondagens a Percussão	15	65,40
Sísmica de Refração	-	1.425,00

TABELA 5.2

Investigações Realizadas no Projeto Básico		
Tipo de Investigação	Quantidades	Metragem Total
Sondagens Mistas	31	473,85
Sondagens a Percussão	7	31,56
Poços de Inspeção	25	36,9
Trincheiras	6	~250,0
Sísmica de Refração	-	8.694,0

A descrição das trincheiras encontra-se no Anexo I, a descrição dos poços e ensaios de laboratório é apresentado no Anexo II, os logs das sondagens no Anexo III e as seções de refração sísmica no anexo IV.

Os dados disponíveis das investigações levadas a efeito em 1994 foram considerados sempre que se situavam próximos ao traçado selecionado.

## 5.1 SONDAGENS MISTAS

As sondagens mistas executadas pela PROGEO ENGENHARIA, apesar das dificuldades encontradas, principalmente quanto ao acesso e disponibilidade de água, podem ser consideradas de boa qualidade. As porcentagens de recuperação dos testemunhos foram em geral elevadas. Alguns trechos, principalmente na passagem da percussão para o método rotativo, geraram índices baixos de recuperação, apesar dos esforços no sentido de perfurar com pouca água e baixa rotação.

Ensaio de permeabilidade foram realizados sistematicamente, na tentativa de caracterizar a condutividade hidráulica dos maciços rochosos. Ensaio nos horizontes de solo e saprolito foram eventuais. A medição do nível freático dos furos foi efetuada ao término das sondagens.

## 5.2 POÇOS MANUAIS E SONDAGENS A TRADO

Estas investigações haviam sido previstas com uma certa intensidade, mas mostraram ser métodos pouco eficientes na região, em razão dos solos ressecados e endurecidos, que impossibilitam o avanço à pá e picareta em poços

ou o avanço do trado e, conseqüentemente, penalizam a espessura de solos saprolíticos e/ou granulares grosseiros.

Os poços manuais foram retomados para permitir a obtenção de amostras de solo e saprolito para ensaios laboratoriais, cujos resultados são apresentados no Anexo IV.

### **5.3 TRINCHEIRAS**

Seis trincheiras foram abertas em diversas litologias para permitir uma avaliação real dos horizontes de intemperismo e suas relações com a categoria de escavação, apresentando resultados muito proveitosos para o desenvolvimento do projeto.

As trincheiras executadas em diversas litologias vieram comprovar a viabilidade de escavação com escarificador dos horizontes chamados de saprolito, conforme ilustrado na tabela abaixo.

Afora a TR-1 que foi reaterrada, observa-se que as trincheiras abertas em gnaiss e xisto acumulavam água, denotando baixa permeabilidade do saprolito. Por outro lado, o perfil dos materiais escavados, solo e saprolito, mostrou-se muito compatível com as velocidades sísmicas executadas ao lado das trincheiras. Ainda, como observação de muito interesse prático, verificou-se que o material escavado constituído de saprolito, foi utilizado no aterro de diques próximos, dando uma clara demonstração de sua baixa permeabilidade. Amostras desse material foram extraídas da TR-3 e TR-5.

TABELA 5.3

Trincheira	Profundidade Alcançada	Produção	Tipo de Rocha
TR-1	8,0 m	~87 m <sup>3</sup> /h	Xisto
TR-2	1,2 m	-	Sienito
TR-3	8,0 m	~216 m <sup>3</sup> /h	Gnaisse
TR-4	4,0m	~155 m <sup>3</sup> /h	Arenito Paleozóico
TR-5	6,5 m	~130 m <sup>3</sup> /h	Xisto
TR-6	10,0 m	~364m <sup>3</sup> /h	Arenito Mesozóico

#### 5.4 SONDAGENS A PERCUSSÃO

Estas sondagens mostraram baixo poder de resolução em razão das condições geológicas da região. Seu avanço é limitado aos horizontes de solo coluvial e saprolítico, raramente ultrapassando 2 a 3 m de profundidade. Apenas nos horizontes de solo aluvional, mais espessos, e em áreas sedimentares, este método mostrou boa resolução.

#### 5.5 PERFILAGEM SÍSMICA

Após uma primeira experiência não muito bem sucedida com os ensaios de refração sísmica durante os estudos de viabilidade, insistiu-se nesta fase de investigações, na correlação entre velocidades sísmicas e dados de sondagens mecânicas, trincheiras e dados de levantamento de campo.

O sismógrafo consistiu em um sistema de 12 canais composto por amplificadores e filtros analógicos, conversor analógico digital de 16 bits e um microcomputador tipo notebook (Pentium II, 266 MHz), cuja arquitetura básica é descrita por Taioli, 1995. O controle do sistema é obtido por meio de software dedicado que controla a taxa de amostragem, tempo total de registro e demais parâmetros de aquisição, assim como apresenta dados na tela, em forma de sismogramas. Os dados são gravados em arquivos no próprio disco rígido do microcomputador. Este sistema permite também, efetuar-se o empilhamento vertical, que objetiva aumentar a relação sinal/ruído do registro, sendo que neste trabalho, o empilhamento para cada geofone foi diferenciado, aumentando para os geofones mais distantes do ponto de geração de ondas.

Utilizou-se geofones eletromagnéticos como sensores, com frequência de ressonância de 10 Hz (Geospace Corporation, modelo Digiphone) e conectores polarizados. O cabo sismográfico dispõe de 12 conectores distanciados de 6 metros entre si.

Os métodos de cálculo utilizados para definição das profundidades foram o GRM (generalized reciprocal method) proposto por Palmer (1981) e, em condições especiais, os de tempo de intercepção ("intercept time") e o de distância de cruzamento ("crossover distance") e, dependendo da curva tempo x distância obtida, adotou-se o de menor erro.

Os resultados desta feita foram bastante satisfatórios. Isto se deve à utilização de equipamentos mais modernos, ao maior cuidado na interpretação dos sismogramas, na execução de bases mais curtas para esclarecer a interpretação de bases mais longas e nos cuidados de estabelecer a base sísmica ao longo de superfícies horizontais, o que facilita a interpretação.

Os dados de perfis sísmicos, acoplados às investigações diretas, permitiram a elaboração de seções geológico-geotécnicas confiáveis.

## **6. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E FEIÇÕES DO TRECHO I**

### **6.1 SUBTRECHO I - TOMADA D'ÁGUA A EB-I/ 1**

Na região entre a tomada d'água junto ao rio São Francisco e a EB-I/1, o traçado será implantado em planície aluvionar, constituída por areias finas com argila e esparsos cascalhos. Não se antecipam maiores dificuldades na escavação desses materiais, nem no emprego dos materiais escavados na construção de aterros laterais e ensecadeiras que se fizerem necessárias.

O material que ocorre nessa região é essencialmente arenoso e o lençol freático situa-se entre 1,0 e 2,5 m de profundidade. Nas escavações abaixo do nível d'água, poderão ocorrer, eventualmente, infiltrações intensas se forem interceptados horizontes de areia média a grossa limpa e cascalho, podendo exigir rebaixamento. Os sedimentos aluviais estão sobrepostos diretamente sobre o topo rochoso ou delgado horizonte de saprolito de biotita gnaiss e migmatitos, que também serão escavados em cerca de 4 m em média. Em pontos isolados os aluviões chegam a atingir 15 m de profundidade.

A partir da estaca 1+350, a espessura dos aluviões decresce progressivamente e, em contrapartida, aumentam as espessuras do solo saprolítico e saprolito.

## **6.2 SUBTRECHO II- EB-I/1 A TÚNEL ANGICO**

Nesse compartimento ocorrem gnaisses/biotita gnaisses e migmatitos, com espessuras médias de 2 m de solo sobre 2 m de saprolito. Nas regiões onde predominam biotita gnaisses, a espessura de saprolito pode chegar a até 6 m, ao passo que, onde ocorrem gnaisses de composição mais granítica, as coberturas de colúvio mais saprolito são bem menos espessas, atingindo em determinados locais, apenas 1,0 m.

Nas proximidades da barragem Tucutú, foram observados lineamentos estruturais com direções aproximadas variando de N60W a N80W. Já na região a montante do túnel Angico, foram observados lineamentos pronunciados com direção N55E.

## **6.3 SUBTRECHO III - T ÚNEL ANGICO A EB-I/2**

Neste compartimento também ocorrem gnaisses e migmatitos, sob a influência do grande sistema de cisalhamento dúctil-rúptil, denominado Lineamento de Pernambuco. Por isso, essas rochas apresentam-se preferencialmente com foliação milonítica e/ou brechóides. Tal fato propicia uma maior espessura do saprolito, que alcança em média, espessura de três metros, sob uma cobertura inferior a 2,0 m de solo.

Foram observadas, próximo ao Aqueduto Mari, onde existem afloramentos de rocha, algumas atitudes da foliação do biotita gnaiss: N60W/75°NE e N50W/65°NE. Já próximo ao riacho Terra Nova foram observadas lineações com rumo N60E a N80E.

## **6.4 SUBTRECHO IV - EB-I/2 A E-93+500**

Ocorrem neste sub-trecho, rochas graníticas e sieníticas, em terreno mais acidentado, sendo muito comum a ocorrência de afloramentos de rochas, principalmente nas encostas dos morros, seja sob a forma de matacões métricos, salientes à superfície e em parte deslocados de sua posição original, seja sob a forma de extensas e contínuas lajes. As coberturas de solo e saprolito são pouco expressivas, em torno de 1,0 m de solo e, no máximo, 3,0 m de saprolito. Na

região da Barragem Serra do Livramento, foram observados veios dessimétricos, com orientação N45W.

Em meio às rochas intrusivas grosseiras, ocorrem afloramentos de xistos e migmatitos. Em um deles, nas proximidades da Barragem Mangueira, no Riacho Mulungu, foram observados xistos com atitude EW/90°. No açude Mulungu afloram xistos com foliação subhorizontal, que foram escavados a picareta no canal do sangradouro, apesar do seu aspecto rochoso, conforme se observa na foto 18.

### **6.5 SUBTRECHO V - E-93+500 A TÚNEL MILAGRES - JATÍ**

Este sub-trecho insere-se no domínio dos xistos e filitos, com coberturas de solo da ordem de 2,0 m e de saprolito da ordem de 4,0 m. Algumas medidas de foliação dessas rochas, obtidas durante as investigações do Projeto Básico desenvolvido em 1994, variam de N45-80W/15°-35°SW, ocorrendo também atitudes N70E/30°SE, N35E/17°NW e EW/20°S, indicativas da extrema variabilidade da orientação estrutural dessas rochas.

### **6.6 SUBTRECHO VI - TÚNEL MILAGRES - JATÍ A E-137+500**

Neste compartimento, o traçado se desenvolve no domínio dos arenitos paleozóicos. Trata-se de arenitos grosseiros, conglomeráticos, bem cimentados, conferindo uma coerência significativa às rochas. Alguns afloramentos são observados, mas a feição dominante é de cobertura de solo arenoso em topografia suave, sobreposta a cerca de 2,0 m de saprolito. O topo rochoso é encontrado a 3,0 ou 4,0 m de profundidade em média.

### **6.7 SUBTRECHO VI - E-137+500 A JATÍ**

Voltam a predominar neste compartimento, as ocorrências de xistos e filitos em topografia bastante recortada, com rede de drenagem pouco espaçada, indicativa da ocorrência de materiais pouco permeáveis e mais argilosos. Estas litologias intercalam-se com rochas metabásicas, tais como anfibolitos e tufos. As espessuras de solo e saprolito são da ordem de 2,0 a 5,0 m, respectivamente.

## 7. CONSIDERAÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

Como já observado anteriormente, o nível freático na região da tomada d'água, situa-se a cerca de 2,0 m de profundidade. No restante do traçado, as escavações não deverão atingir o nível freático, salvo no cruzamento dos eixos de talwegues principais, onde se alojam depósitos aluviais quaternários. Estes sedimentos, são testemunhos de deposição em período recente, por inundação da planície fluvial e são sugestivos de que o nível freático se encontra a pouca profundidade. Daí a existência muito freqüente de cacimbas, onde é explorada a água existente nos aluviões.

Nos talwegues secundários, a ocorrência de solos aluviais é reduzida ou inexistente e são muito freqüentes os afloramentos rochosos às margens ou no fundo dos talwegues, não havendo a formação da planície aluvial. Nestes casos, o nível freático é mais profundo e encontra-se alojado dentro do maciço rochoso, quando este apresenta fraturamento significativo. Em casos de rochas pouco fraturadas, o nível freático é de difícil materialização.

Os horizontes de solo saprolítico e saprolito refletem as possíveis oscilações do nível freático que propiciaram o intemperismo químico e a conseqüente decomposição da rocha. Estes horizontes, independentemente da litologia de origem, apresentam permeabilidades em torno de 1 a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s, conforme verificado em ensaios de infiltração, nas sondagens a percussão.

Quanto aos maciços rochosos constituídos de rochas do embasamento cristalino, são pouco fraturados e muito pouco permeáveis. As faixas tectonicamente mais fraturadas são alinhamentos que naturalmente tendem a se constituir em eixos de drenagem, com acúmulo de sedimentos aluviais. Podem armazenar água subterrânea em suas fraturas, mas devido a pouca mobilidade das águas, tendem a apresentar alta concentração de sais dissolvidos.

No entanto, os metros superiores dos maciços rochosos encontram-se desconfiados, dando origem a rochas mais permeáveis. Este fato é tanto mais marcante quanto mais rígido for o maciço, caso dos granitos e sienitos. Os xistos e filitos, por serem rochas pouco competentes, deformam-se com mais facilidade, não ocasionando fraturas abertas e, por conseqüência, são menos permeáveis. Dos 60 ensaios de perda d'água feitos nessa litologia, 55% mostraram perda nula, 15% baixa condutividade e 20% média condutividade.

Nos gnaisses, que podem ser considerados maciços médios, 60% dos ensaios apresentam perda nula e 15% com baixa permeabilidade.

Já rochas granitóides e sienitos, apresentaram 40% de perda nula e 40% de perda total ou alta condutividade hidráulica.

Os ensaios foram limitados aos 10 m abaixo do topo rochoso. Admite-se que a condutividade hidráulica dos maciços rochosos cristalinos, esteja limitada aos 5 m superiores do maciço.

Não se prevê fugas d'água dos reservatórios por percolação através das fundações, dada a baixa permeabilidade dos solos saprolíticos e saprolitos e dos maciços rochosos propriamente ditos. As Barragens Orós e Atalho são apenas dois exemplos de barramentos feitos em zonas de falhamento geológico, sem quaisquer problemas de estanqueidade.

O trecho que será implantado em arenitos paleozóicos deve ser considerado de média permeabilidade, dada a porosidade comunicante existente, tanto nas areias residuais, como no próprio arenito. Em se tratando de um aquífero, conforme verificado em outras localidades onde se explora água subterrânea, deve ser estudada a hipótese de obtenção de água através de poços tubulares profundos, para uso na construção e canteiro de obras.

## **8. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DAS ESTRUTURAS PRINCIPAIS**

Algumas considerações de caráter geral e abrangente são julgadas relevantes para esclarecer os conceitos que foram usados no projeto, justificar valores médios adotados e extrapolações feitas e, ainda, para caracterizar o nível de precisão admitido.

A determinação dos volumes dos materiais de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> categorias de escavação, obedecem a critérios geológico-geotécnicos, que se formalizaram pela análise conjunta e interação dos dados fornecidos pelas sondagens mecânicas, sísmicas, trincheiras e reconhecimento geológico de campo.

Para facilitar o entendimento e a descrição dos horizontes, adotou-se o termo saprolito a todo material de 2<sup>a</sup> categoria, apesar de se reconhecer que ambos

não são obrigatoriamente correspondentes. Sempre que o material foi julgado de 2ª categoria quanto à escavação, foi denominado de saprolito, mesmo quando se tratasse de maciço rochoso muito fraturado ou solo saprolítico muito duro.

As litologias ocorrentes foram agrupadas em 4 grandes famílias:

- xistos e filitos;
- gnaisses e migmatitos;
- granitos e sienitos;
- arenitos paleozóicos;

Esta é uma enorme simplificação da geologia local, que não se limita nem se esgota nestas litologias. É entretanto, uma simplificação necessária para sistematizar comportamentos geotécnicos e geomecânicos que são afins em cada grupo. As litologias citadas são as predominantes na área em questão.

A par da variabilidade das litologias, às vezes em certas extensões, observa-se também uma grande variação do perfil de intemperismo em locais contíguos, como é comum em rochas cristalinas, especialmente em gnaisses e granitos. O perfil oscila desde afloramentos de rocha sã, de um lado, até espessuras de 2 a 3 m de solo detrítico e residual somadas ao saprolito e rocha alterada e fraturada. Esta é a razão da grande dificuldade de estabelecer com fidelidade um perfil de intemperismo ao longo de uma estrutura ou de um corte mais extenso. Inúmeros casos de erros ou imprecisões no estabelecimento do topo rochoso são conhecidos, mesmo em locais com investigações consideradas adequadas e suficientes.

Pelas razões acima expostas, foi determinado, para cada compartimento homogêneo, um perfil idealizado, que corresponde a um valor médio das condições de ocorrência, dentro de uma faixa de confiabilidade de 80 a 85%.

Na maioria dos casos, as avaliações para cômputo de volumes foram no sentido de penalizar os materiais quanto à escavação, ou seja, de caracterizá-los com maior rigor quanto à possibilidade de escavação mecânica.

## 8.1 ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBI-1

A EBI-1 situa-se em área de ocorrência de biotita gnaisses com foliação N60°W a N70°W e mergulhos variáveis, de subverticais a baixo ângulo. O reconhecimento de campo indica predominância de mergulhos subverticais, porém, os testemunhos de sondagem exibem foliação inclinada ou de baixo grau, dificultando a identificação do rumo do mergulho e, por conseqüência, dificultando a avaliação da estabilidade dos taludes rochosos perante as escavações previstas. Em princípio, a direção da foliação associada a mergulhos de baixo ângulo ou mesmo a mergulhos subverticais, é favorável à estabilidade dos maiores taludes de corte, quais sejam, os laterais no canal de aproximação e o frontal, na EB.

O perfil geológico exhibe uma espessura de 2 a 4 m de solo coluvial e detrítico, recobrimdo horizonte de saprolito de gnaisses com espessuras de 2 a 6 m, sendo mais pronunciado no canal de aproximação, onde se aloja o nível freático, conforme detectado na sondagem SM-150. Os níveis d'água indicados nas demais sondagens são duvidosos e necessitam de confirmação.

O maciço rochoso caracteriza-se por velocidades sísmicas acima de 2.000 m/s em gnaisses são a pouco alterados, com grande fraturamento médio.

### Investigações Realizadas

- Sondagens Mecânicas:

Foram executadas na área, três sondagens mistas e duas sondagens a percussão.

- Perfilagem Sísmica:

Foram efetuadas 4 bases com 78 m de extensão cada e uma base curta, com 38 m.

Nos quatro locais, detectou-se uma camada de material escarificável com cerca de 5 m de espessura, passando para material progressivamente mais resistente à medida que se caminha para sudeste (da base 1 para a 4). Na base 1, a seção curta confirmou os resultados obtidos na longa.

## 8.2 ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBI-2

A EBI-2 situa-se em área topograficamente mais acidentada, devido à ocorrência de rochas intrusivas grosseiras, aqui denominadas de sienitos. Estas rochas, muito rígidas, afloram com freqüência exibindo picos rochosos, lajes e grandes blocos.

O contato geológico com os gnaisses finos e foliados é gradual e localiza-se no canal de aproximação, cerca de 100 m a montante da estação elevatória. O contato é gradual devido às injeções da rocha intrusiva na encaixante e provavelmente há ocorrência de xenólitos de gnaiss.

A espessura de cobertura de solo e saprolito é pouco expressiva. Ganha maior significado na região entre o contato geológico e a EB, est. 51+800 e 51+950, onde o horizonte de saprolito atinge cerca da 3 m de espessura e pode englobar blocos de sienito oriundos de afloramentos situados em cotas mais elevadas

Os extensos e profundos cortes em rocha previstos para a implantação da EB, devem se dar em maciço rochoso de boa qualidade e boas características geomecânicas. As escavações extensas em rocha, no canal de aproximação, se darão em gnaisses foliados, são a pouco alterados, cuja estabilidade está basicamente condicionada pela orientação da foliação em relação à face de corte.

### **Investigações Realizadas:**

- Sondagens Mecânicas:

Foram executadas 3 sondagens mistas na área, as quais, associadas aos perfis sísmicos, permitiram a elaboração da seção geológico-geotécnica.

- Perfilagem Sísmica:

Foram efetuadas 4 bases com 78 m de extensão cada.

As bases 1 e 2, localizadas mais a sudoeste da linha, apresentaram comportamento sísmico semelhante, com uma camada superficial variando de 3 a 5 m com velocidades em torno de 1000 e 1200 m/s, sobrepondo-se à rocha sã, com velocidade superior a 3000 m/s. As bases 3 e 4, localizadas mais a nordeste

da linha, também apresentam comportamento sísmico semelhante entre si, com uma camada superficial escarificável sobrepondo-se a um material com velocidades intermediárias (de 1500 a 2200 m/s) que, por sua vez, encontra-se em contato com a rocha sã.

### 8.3 ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBI-3

O contexto geológico nesta EB é muito semelhante a da EBI-2. A mudança abrupta da topografia imediatamente a montante da EBI-3, é reflexo do contato geológico entre os gnaisses cisalhados e os sienitos intrusivos. Os gnaisses apresentam-se no canal de aproximação com foliação de baixo ângulo e injetados pela intrusiva sienítica. Os três metros superficiais são mais fraturados e permeáveis. O sienito compõe um maciço rochoso muito rígido, de granulação grosseira, cujos metros superficiais apresentam-se mais descomprimidos e por conseqüência, mais fraturados. A encosta, por onde correrão as tubulações adutoras, apresenta capeamento reduzido a solo e saprolito.

O canal de aproximação e a EBI-3 propriamente dita se darão no gnaisse cisalhado e injetado, imediatamente a montante do contato geológico com o sienito. O maciço rochoso a ser escavado apresenta boas características geomecânicas quanto à resistência e fraturamento e não são de esperar maiores problemas de estabilidade nos taludes de corte.

O canal em aterro que se segue à jusante da tubulação adutora e da estrutura do sifão, é constituído por uma sucessão de afloramentos de rocha e blocos soltos de sienito, alguns dos quais deverão necessitar desmonte, remoção ou estabilização.

#### **Investigações Realizadas:**

- Sondagens Mecânicas:

As sondagens mecânicas, foram apenas duas, devido às extensas áreas de afloramentos rochosos.

- Perfilagem Sísmica:

Foram efetuadas 9 bases com 52 m de extensão cada (geofones espaçados de 4 m). Os resultados obtidos nesta região são muito dependentes do local em que foi realizado o ensaio, pois alguns pontos foram realizados no vale enquanto outros na meia encosta ou mesmo próximo ao topo de um morro rochoso. A base 1 mostrou 2,5 m de material escarificável sobrepondo-se a cerca de 6 m de material com velocidades sísmicas entre 2000 e 2400 m/s, que está em contato com a rocha sã. A base 2 apresentou 1,0 m de material escavável sobre cerca de 5 m de material com velocidades sísmicas entre 1400 e 1600 m/s e o contato com a rocha sã em torno dos 7 a 8 m de profundidade. A base 3 apresentou também cerca de 1,5 m de material de 1ª categoria sobrepondo-se a cerca de 8 a 9 m de material com velocidades variando entre 1400 e 2000 m/s, em contato com a rocha sã. Na base 4, localizada a meia encosta, a rocha sã, com velocidades superiores a 3300 m/s, está aflorante. A base 5, também localizada na meia encosta, mostrou um horizonte com cerca de 5 a 6 m de espessura de material com 1900 m/s de velocidade sísmica, em contato com a rocha sã. A base 6, assim como as duas anteriores, localizada à meia encosta, mostrou de 6 a 8 m de material com velocidade sísmica entre 2200 e 2400 m/s em contato com a rocha sã. Na base 7 encontrou-se de 2 a 3 m de material com velocidades entre 1000 e 1200 m/s sobrepondo-se à rocha sã. As bases 8 e 9, apresentaram a rocha sã a cerca de 10 m de profundidade, sendo que na base 8, o material que a sobrepõe, mostrou velocidade sísmica de 1800 m/s e na base 9 um horizonte superficial (cerca de 3 m) de material com velocidade entre 800 e 1000 m/s seguido de material com velocidades entre 1800 e 2100 m/s.



**FOTO 1:** EBI-3 - Rocha aflorante a subaflorante no local de implantação da EBI-3 e canal subsequente em aterro.



**FOTO 2:** EBI-3 - Vista para a ombreira de montante da metade do canal em aterro.



**FOTO 3:** EBI-3 - Vista de frente para o local no qual será feito o aterro para o canal ,depois da EBI-3, onde ocorre laje de granito atrás de uma faixa arborizada.

## 8.4 BARRAGEM TUCUTÚ

A barragem insere-se em domínio de rochas gnáissicas, mais especificamente em biotita gnaisses cisalhados, com direção de foliação a N70°W e mergulho subvertical.

A topografia é suave, não há afloramentos rochosos, mas a cobertura do solo é constituída por fina camada de um paleopavimento detrítico, onde predominam fragmentos de 3" a 4" de quartzo. No fundo do vale, o solo aluvional é mais arenoso e bastante compacto.

O horizonte de saprolito é razoavelmente uniforme, com espessuras de 2,5 a 5,0 m e dadas suas características favoráveis de resistência, deformabilidade e permeabilidade, apresenta condições adequadas para fundação da barragem.

A biotita gnaisse neste local não foi testada quanto à permeabilidade, mas a foliação que confere a principal descontinuidade ao maciço rochoso tem direção perpendicular ao eixo da barragem, o que, em princípio é desfavorável à estanqueidade. Ensaios de injeção são sugeridos, para avaliar a necessidade de tratamento durante a construção.

### **Investigações Realizadas:**

- Sondagens Manuais e Mecânicas:

Foram executados: uma sondagem mista no fundo do vale, imediatamente a montante do eixo e dois poços manuais com retirada de amostras para caracterização em laboratório.

- Perfilagem Sísmica:

Foram efetuadas 5 bases com 78 m de extensão cada e uma base com 39 m (geofones espaçados de 3 m).

As bases longas revelaram uma camada superficial de solo (base 4) a escarificável (demais bases), com espessura variando de 5 a 10 m, passando para um material de alta velocidade sísmica, compatível com rocha sã. A base 2 mostrou um primeiro horizonte com velocidades muito variáveis, porém, o

detalhamento com geofones menos espaçados definiu o primeiro horizonte com espessura variando de 2 a 5 m e passando diretamente para rocha sã.



**FOTO 4:** Barragem Tucutú - Acesso aberto para execução da sondagem SM-165. Observar a incidência de cascalho na superfície do terreno, configurando o paleopavimento detrítico.



**FOTO 5:** Barragem Tucutú - Vista do leito seco do riacho Tucutú.



**FOTO 6:** Barragem Tucutú - Vista do reservatório no fundo do vale.

## 8.5 BARRAGEM TERRA NOVA

A barragem insere-se em área de topografia muito suave, porque seu traçado se dispõe, em grande parte, paralelo ao vale do riacho Terra Nova. As ombreiras, principalmente à esquerda, apresentam declividades mais acentuadas. Duas litologias principais ocorrem na área: o granito-gnaiss predominando na margem direita e os clorita xistos na margem esquerda. Boa parte do eixo é recoberto por solos aluvionares mais argilosos com espessuras de 2 a 4 m e que deverão ser removidos da fundação.

Abaixo do aluvião, desenvolvem-se espessuras significativas de solo saprolítico, o qual, pelos índices SPT e velocidades sísmicas, aproxima-se do saprolito. Admite-se que uma escavação parcial neste horizonte, para eliminar os materiais superficiais menos compactos, seja suficiente para obter fundação adequada da barragem.

As ombreiras, de topografia mais abrupta, apresentam cobertura pouco expressiva sobre o topo rochoso, sendo observados afloramentos isolados de gnaiss nas imediações.

A orientação das rochas, dada pela foliação dos xistos e bandamento dos gnaisses é de N60°E a N80°E, com mergulho subvertical. Esta orientação é aproximadamente perpendicular ao eixo da barragem, o que é em princípio, desfavorável à estanqueidade da fundação. Por outro lado, os ensaios de perda d'água mostraram resultados dispersos, com tendência a baixa permeabilidade nos xistos e maior condutividade hidráulica nos gnaisses.

### Investigações Realizadas

- Sondagens Manuais e Mecânicas:

Foram executados três sondagens mistas ao longo do eixo e três poços manuais nas suas proximidades, para caracterizar os solos aluvionares.

- Perfilagem Sísmica:

Foram efetuadas 12 bases com 78 m de extensão cada.

Nesta região as bases de 2 a 12 mostraram-se bastante semelhantes, exibindo um horizonte superficial de solo com espessura média de 5 m, passando diretamente para rocha sã, com altas velocidades sísmicas. A base 1 apresentou também, um horizonte superficial escavável com espessura média de 7 m, passando para material de velocidade compatível ao material de transição.



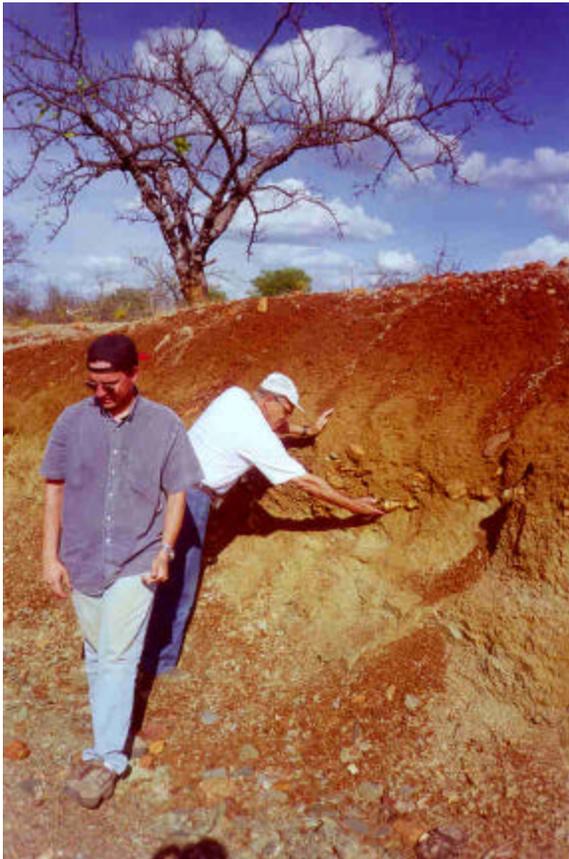
**FOTO 7:** Barragem Terra Nova - Afloramento de clorita xisto próximo (~ 500 m) ao eixo.



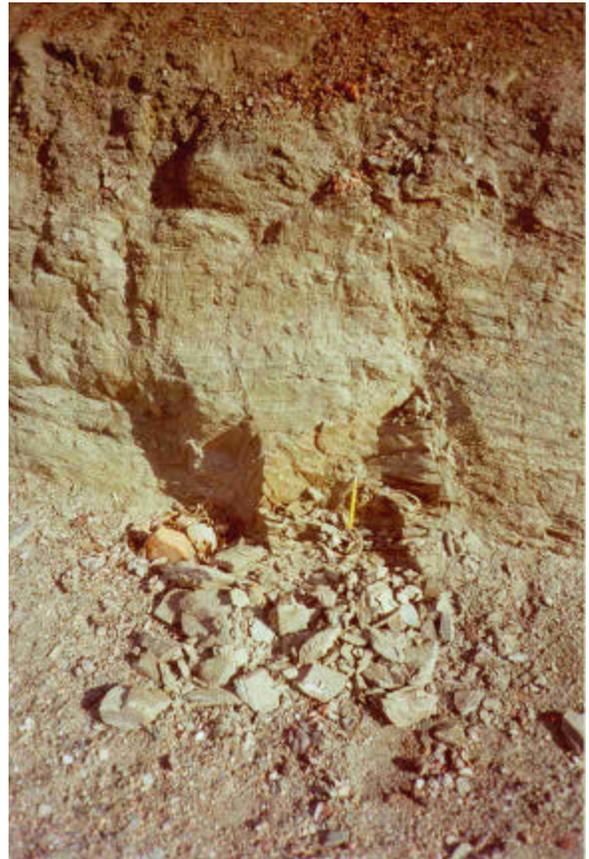
**FOTO 8:** Barragem Terra Nova - Afloramento de clorita xisto próximo ao eixo.



**FOTO 9:** Barragem Terra Nova - Vista do local onde o PTSF cruza o Rio Terra Nova, próximo à barragem.



**FOTO 10:** Drenagem natural e sedimentos aluviais no reservatório Terra Nova.



**FOTO 11:** Detalhes da parede da trincheira TR-3 escavada no reservatório Terra Nova.

## **8.6 BARRAGEM SERRA DO LIVRAMENTO**

O local de implantação da barragem caracteriza-se por morfologia relativamente suave, talvegues abertos, abundância de afloramentos rochosos de sienito em extensas lajes.

A cobertura de solo é pouco significativa, constituída de um paleopavimento de blocos dessimétricos e ferruginosos de rocha em matriz arenosa, raramente ultrapassando 1,0 m de espessura.

O topo rochoso, constituído de sienito intrusivo muito resistente e pouco fraturado, quando não exposto à superfície, encontra-se a profundidades inferiores a 3,0 m.

O fundo do vale, pouco expressivo, apresenta areia aluvial com largura da ordem de 3,0 m.

A ocorrência de blocos rochosos deslocados e salientes à superfície, é observada a pouca distância do local.

Admite-se que a barragem estará apoiada diretamente no topo rochoso ou no horizonte pouco espesso de saprolito.

Por se tratar de maciço rochoso de alta rigidez, é de se esperar a ocorrência de fraturas verticais abertas e juntas de alívio paralelas à superfície que permitem franca percolação de água, apesar de ensaio de perda d'água na sondagem ter indicado perda nula. Injeções exploratórias devem ser programadas durante a implantação do barramento.

### **Investigações Realizadas**

- Sondagens manuais e mecânicas:

Dadas as características locais, de homogeneidade geológica, apenas uma sondagem mista e um poço manual foram executados, extrapolando-se seus resultados para toda área da barragem, por correlação sísmica.

- Perfilagem Sísmica:

Foram efetuadas 5 bases com 78 m de extensão cada.

Nesta área afloram muitos matacões de granito, o que dificultou o trabalho. Os resultados obtidos evidenciam uma camada pouco espessa de solo em contato direto com rocha sã. Deve-se notar que a velocidade sísmica do solo superficial aumenta da base 1 para a 5, ou seja, em direção sudoeste. A base 4 apresentou comportamento ligeiramente anômalo, devendo ser considerada com reservas, pois tanto a fonte como alguns geofones encontravam-se muito próximos de um grande bloco de granito aflorante.



**FOTO 12:** Barragem Serra do Livramento - Afloramentos nos arredores do local da sondagem SML-1. Ocorrem afloramentos por toda a parte.



**FOTO 13:** Barragem Serra do Livramento - Drenagem natural dentro do reservatório, com estreita planície aluvial.



**FOTO 14:** Barragem Serra do Livramento - Drenagem na área do reservatório.



**FOTO 15:** Barragem Serra do Livramento - Afloramentos rochosos no eixo da barragem.



**FOTO 16:** Vista da Serra do Livramento ao fundo.

## 8.7 BARRAGEM MANGUEIRA

O eixo da barragem se dispõe sobre rochas xistosas com foliação E - W / 15° a 45° S.

O fundo do vale apresenta sedimentos aluvionares basicamente arenosos, grossos e finos, com intercalações de material argiloso e orgânico. O nível freático se posiciona a 1,5 m da superfície e o aluvião alcança espessuras de até 4,0 m e que deverá ser inteiramente removido da fundação. O maciço rochoso apresenta-se alterado e fraturado, com fraturas oxidadas e fraturas subverticais abertas. A foliação é razoavelmente paralela ao eixo, com mergulho para jusante, o que, em princípio, não é de todo favorável para a estanqueidade das fundações. Entretanto, os ensaios de perda d'água executados sistematicamente forneceram resultados de perda nula ou baixa condutividade hidráulica.

A ombreira direita, topograficamente mais suave, constitui-se de cobertura coluvial de 1 a 2 m, seguida por horizonte de saprolito de xisto, com cerca de 2 m de espessura sobre o topo rochoso, constituído de biotita xisto com foliação de baixo ângulo.

A ombreira esquerda é mais abrupta, com cobertura de solo pouco significativa e espessuras de saprolito da ordem de 4 a 10 m. Afloramentos isolados de rocha ocorrem nesta ombreira. A atitude da foliação é, em princípio, favorável à estabilidade dos taludes.

### **Investigações Realizadas:**

- Sondagens Manuais e Mecânicas:

Foram executadas duas sondagens mistas e três poços manuais nas proximidades do eixo, com coleta de amostras para ensaios laboratoriais.

O eixo da barragem estudado em 1994 e situado cerca de 700 m a montante, apresenta condições geológicas muito similares, conforme atestado pelas sondagens SMB-20 e SMB-22.

- Perfilagem Sísmica:

Nesta localidade foram efetuadas 6 bases longas e 2 bases curtas (39 m).

A base 1 (leste da área) revelou horizonte de solo com 1,5 a 3,0 m de espessura seguido de material com velocidade sísmica entre 1000 e 1300 m/s até cerca de 14 m de profundidade quando encontra material de velocidade maior do que 2400 m/s. A base 2, detalhada com uma seção curta, apresentou um horizonte de cerca de 5 m de espessura sobrepondo-se a material com velocidade sísmica de 2200 m/s até atingir a rocha sã à cerca de 14 m de profundidade. A base 3 revelou camada de solo de cerca de 5m de espessura sobrepondo material de comportamento bastante irregular com velocidades sísmicas variando de 1700 a 2600 m/s e espessura também variando de 3 a 10 m, que se encontra em contato com a rocha sã. A base 4 (também detalhada com seção curta) revelou um material com velocidade sísmica entre 1100 e 1300 m/s e espessura média de 4 m sobrepondo-se a material com velocidade de cerca de 2200 m/s em contato com a rocha sã a 7,5 m/s de profundidade na sua porção inicial e com material de velocidade sísmica menor e maiores profundidades (até 10 m) na sua porção final. A base 5 apresentou material escarificável até cerca de 5 m de profundidade seguido de material com velocidades sísmicas em torno de 1900 e 2200 m/s até cerca de 10 m de profundidade, quando se encontra material com velocidade maior do que 2500 m/s. A base 6, efetuada em vale, apresentou um primeiro horizonte de solo com espessura variando de 4 a 8 m sobrepondo-se à rocha sã.



**FOTO 17:** Barragem Mangueira - Vista para montante da barragem, mostrando a ampla planície aluvial.



**FOTO 18:** Barragem Mangueira - Vista mais a jusante do canal do sangradouro do açude Mulungu no reservatório, escavado em filitos subhorizontais (material de 2ª categoria).

**FOTO 19:** Barragem Mangueira - Cacimba escavada no fundo do vale, em aluvião. Observar o N.A. a 1,5 m de profundidade.



**FOTO 20:** Barragem Mangueira - Material junto ao poço Amazonas a jusante da barragem. Notar lentes de argila plástica no aluvião.

## 8.8 BARRAGEM NEGREIROS

A geologia da área constitui-se de rochas intrusivas grosseiras, classificadas como sienito, conformando terreno montanhoso de topografia acidentada, onde os afloramentos de rocha e ocorrência de matacões métricos de sienito são bastante comuns.

Estes matacões, geralmente deslocados de sua posição original, salientam-se à superfície por processos de denudação e fragmentação por dilatação térmica. Não é previsível sua ocorrência abaixo da superfície, como costuma ocorrer em regiões de clima tropical, onde predomina o intemperismo químico. Sendo assim, o desmonte dos blocos rochosos existentes não traz maiores problemas ao preparo das fundações, principalmente das ombreiras da barragem, onde predominam os blocos de rocha e afloramentos.

A ombreira esquerda exibe delgada cobertura detrítica sobre o topo rochoso e o fundo do vale apresenta uma espessura de até 3 m de solo coluvial e saprolito.

O dique apresenta, no vale e ombreira esquerda, espessuras mais significativas de colúvio e saprolito, enquanto na ombreira direita, o topo rochoso está bem próximo à superfície, a cerca de 1,0 m de profundidade.

Por se tratar de um maciço rochoso muito rígido, são previsíveis juntas de alívio subhorizontais bem abertas e fraturamento vertical em duas direções. Impõe-se a execução de injeções exploratórias para caracterizar a permeabilidade das fundações.

### Investigações Realizadas

- Sondagens Manuais e Mecânicas:

O eixo da barragem já havia sido investigado por meio de três sondagens rotativas em estudos anteriores e seus dados foram reprocessados e utilizados. No eixo do dique foram executadas duas sondagens mistas e reprocessados os dados de sondagem executadas em estudo anterior. Ademais, foram abertos dois poços manuais para coleta de amostras.

- Perfilagem Sísmica:

Nesta localidade foram efetuadas 5 bases longas e 2 bases curtas (39 m).

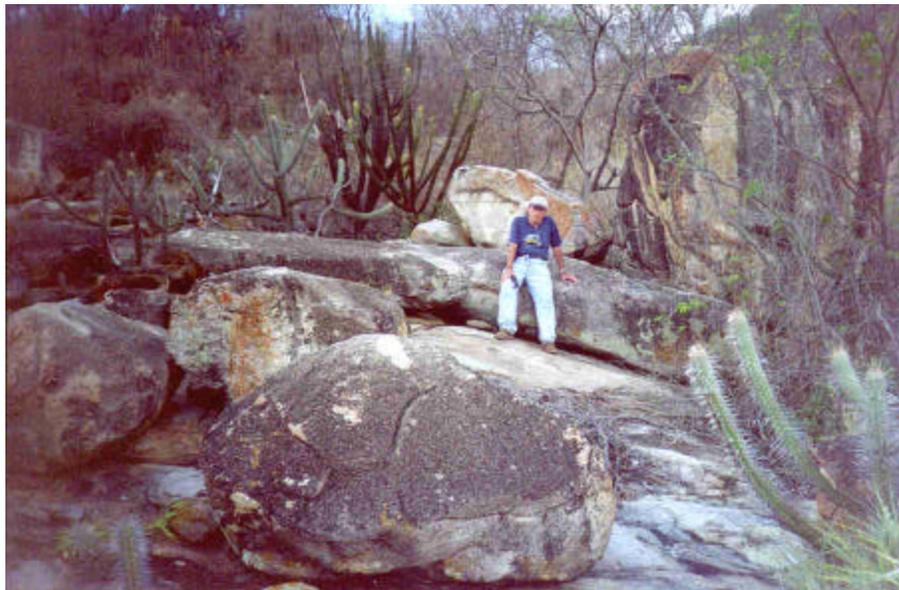
Na base 1 foram executadas uma seção longa e uma curta e evidenciaram uma complexidade de comportamento sísmico com velocidades variando horizontalmente, sendo que a base curta (correspondente à metade inicial da longa) detectou horizonte escarificável com espessura de 5 m sobrepondo a rocha sã; a base longa mostrou que na sua porção final as velocidades da camada intermediária são inferiores do que no início da base e o contato com a rocha sã encontra-se mais profundo.

A base 2 mostrou uma camada superficial com espessura variável de 7 m (na porção inicial) a 4 m (na metade final) com velocidade sísmica entre 1100 e 1800 m/s sobrepondo-se a rocha sã.

A base 3, detalhada com levantamento curto, apresentou horizonte superficial com velocidade sísmica entre 1200 e 1400 m/s e espessura média de 3m sobrepondo-se à rocha sã (velocidade sísmica superior a 2700 m/s). Na base 4 ocorrem 5,5 m de material com velocidade sísmica de 1000 a 1400 m/s sobre a rocha sã. A base 5 mostrou um horizonte superficial de material mais consistente (velocidade sísmica entre 2000 e 2500 m/s) e espessura variando de 10 a 15 m, sobre a rocha sã com velocidade superior a 3500 m/s.



**FOTO 22:** Barragem Negreiros - Vista da ombreira esquerda da barragem.



**FOTO 23:** Barragem Negreiros - Observar incidência de blocos soltos de grandes dimensões e junta de alívio de carga.



**FOTO 24:** Barragem Negreiros - Vista para jusante do dique da margem esquerda da barragem.

## 8.9 BARRAGEM MILAGRES

Tanto a barragem como o dique de Milagres situam-se em filitos, com intrusões e/ou xenólitos de rochas intrusivas ácidas.

A morfologia é típica de rochas metapelíticas, com relevo acidentado, ombreiras ravinadas e bem inclinadas. Afloramentos de filito e de saprolito são comuns, denotando pequeno recobrimento de solo detrítico e mesmo de saprolito, conforme indicado pelas sondagens e sísmica de refração.

O fundo do vale da barragem apresenta solo aluvional arenoso e orgânico com espessura da ordem de 5,0 m e N.A. a 3,5 m de profundidade.

A foliação dos filitos oscila entre N25°E e N40°E, com mergulhos de 25 a 30° SE. Esta foliação é aproximadamente perpendicular ao eixo do dique, em princípio desfavorável quanto a estanqueidade das fundações. Ao contrário, no caso da barragem, a direção da foliação é próxima à do eixo, porém com mergulho para jusante.

Os ensaios de perda d'água executados nas sondagens mistas revelam baixa permeabilidade no filito, porém, permeabilidades mais elevadas nos diques intrusivos de rochas ácidas.

Dada a pequena espessura de capeamento sobre o maciço rochoso, admite-se que as fundações da barragem e dique se darão no topo rochoso. Será prudente a execução de injeções de cimento exploratórias.

### **Investigações Realizadas:**

- **Sondagens Manuais e Mecânicas:**

Nas fundações da barragem foram executadas duas sondagens mistas e três poços manuais, ao passo que no dique foi realizado um poço e duas sondagens mistas.

- **Perfilagem Sísmica:**

Nesta área foram levantadas 13 bases longas e 3 bases curtas (com 39 m).

Os dados obtidos na base 1 apontam um horizonte superficial de 3 m de espessura sobrepondo-se a cerca de 7 a 8 m de material com velocidades sísmicas entre 2000 e 2400 m/s que se encontra em contato com a rocha sã.

A base 2, efetuada com 39 m de extensão devido às condições desfavoráveis do terreno, revelou apenas uma camada com velocidades pouco superiores a 1400 m/s.

A base 3 mostrou uma camada superficial escarificável (velocidades entre 1400 e 1700 m/s) com 10 m de espessura sobrepondo-se a material com velocidade maior do que 2000 m/s.

A base 4 evidenciou uma camada de 3 m de espessura com velocidades entre 900 e 1200 m/s sobre material com velocidade superior a 1700 m/s, porém sem atingir o contato com rocha sã.

A base 5 apresentou 7 a 10 m de material com velocidades entre 1200 e 1400 m/s em contato com rocha sã.

A base 6 mostra horizonte superficial com pequena espessura (até 3,5 m) com velocidades entre 900 e 1400 m/s sobre 8 m de material com velocidade sísmica entre 1900 e 2200m/s que se encontra em contato com a rocha sã.

A base 7 apresentou horizonte inicial de cerca de 8 m de espessura e velocidade sísmica entre 1000 e 2000 m/s sobre material com velocidade pouco superior a 2000 m/s.

A base 8 mostrou comportamento bastante irregular, com um primeiro horizonte variando de espessura entre 2 a 4,5 m e velocidade entre 600 e 1300 m/s sobrepondo-se a um pacote com espessura entre 8 e 13 m e velocidades variando entre 1700 e 2400 m/s que se encontra em contato com a rocha sã.

A base 9, assim como a base 10, está localizada em vale e apresentaram um horizonte com velocidades sísmicas entre 1200 e 1400 m/s (base 9) e entre 1400 e 1800 m/s (base 10) e espessuras variáveis e maiores na base 10, sobrepondo-se à rocha sã. A análise da seção curta obtida na base 9 confirma as velocidades encontradas. As bases 11 e 12, localizadas na parte norte da área, apresentaram uma camada superficial com velocidade entre 900 e 1000 m/s e espessura de 1 a

3 m, sobrepondo-se a um horizonte de espessura bastante variável com velocidade entre 1500 e 1700 m/s; segue-se material com velocidade maior que 2300 m/s (base 12) e maior que 2500 m/s (base 11). A análise de ambas seções (longa e curta) da base 13, localizada em vale, mostrou horizonte superficial escavável com espessura de 4 m sobrepondo-se a material com velocidade superior a 2500 m/s, sendo que a rocha sã (velocidade superior a 3000 m/s) foi detectada entre 8 e 9 m de profundidade na porção inicial, chegando a 3 m na porção final.

Finalmente, a base 14 mostra um horizonte superficial com velocidade sísmica entre 700 e 900 m/s e espessura variável, com 1 m no seu início, espessando para o final (6 m); em seguida ocorre material com velocidades entre 1100 e 1600 m/s e cerca de 6 a 10 m de espessura, em contato com material de velocidade maior que 2500 m/s.



**FOTO 25:** Barragem Milagres - Vista da ombreira direita da barragem. Observar afloramentos de rocha no pé do talude. A lagoa (direita da foto) corresponde à uma depressão do leito do rio Milagres.



**FOTO 26:** Barragem Milagres - Vista parcial da ombreira esquerda.



**FOTO 27:** Barragem Milagres - Poço Amazonas à montante da barragem.

## 8.10 BARRAGEM JATÍ

A topografia do terreno ao longo do eixo da barragem é típica da ocorrência de rochas metapelíticas de baixa permeabilidade, conformando morrotes abruptos e ravinados. O fundo do vale é plano e seco, coberto por solo arenoso aluvial.

Não se observam afloramentos rochosos nas ombreiras. Na ombreira direita predominam rochas metabásicas de difícil caracterização petrográfica, ao passo que a ombreira esquerda é sede de ocorrência de xistos e filitos direcionados a NE e mergulho para SE. O perfil é aproximadamente uniforme, independentemente da litologia, com cobertura detrítica superficial pouco expressiva, onde predominam fragmentos rochosos em matriz silto-argilosa. Segue-se horizonte de saprolito de 2 a 4 m de espessura com características favoráveis de resistência, deformabilidade e permeabilidade para apoio da barragem.

No fundo do vale ocorrem sedimentos aluvionares essencialmente arenosos, com cascalho na base, e matéria orgânica em alguns horizontes. A espessura total é da ordem de 3,0 m, devendo ser inteiramente removidos da fundação.

A barragem deverá estar apoiada no horizonte de saprolito e para tanto deverá ser prevista escavação de cerca de 2 a 3 m para eliminar a cobertura superficial e a porção superior do saprolito, menos compacta.

Apesar do saprolito de rochas xistosas e afins ser, em princípio, de baixa permeabilidade, a orientação da foliação é desfavorável em relação ao eixo da barragem em sua maior altura, favorecendo a percolação de montante para jusante. Injeções experimentais devem ser previstas.

### **Investigações Realizadas**

- Sondagens Manuais e Mecânicas:

Foram executadas três sondagens mistas ao longo do eixo da barragem, uma locada no fundo do vale e outras duas nas ombreiras.

No vale foram locados duas sondagens a percussão pouco a montante do eixo e três poços manuais para coleta de amostras para ensaios laboratoriais.

- Sísmica de Refração:

Nesta região, devido a problemas instrumentais, foram efetuadas 9 bases com 60 m de extensão cada (9 geofones com 6 m entre bases).

As bases 1 e 2 (sul da área) apresentaram comportamento semelhante, com uma camada superficial de material escarificável com cerca de 5 a 78 m de espessura, sobre rocha sã.

As bases 3, 4 e 7 apresentaram uma camada superficial de baixa velocidade com cerca de 2 m de espessura, sobrepondo-se a material com velocidade entre 1300 e 1600 m/s e espessura em torno de 8 m, e em contato com rocha sã.

As bases 8 e 9 (topos de morros ao norte da área) apresentaram uma camada superficial com espessura variando de 3 a 8 m e velocidades entre 500 e 1200 m/s, sobrepondo-se a material com velocidade maior do que 1700 m/s e menor do que 2300 m/s.

A base 10, localizada em um vale profundo no extremo norte da área, apresentou um horizonte de 4 m de material escarificável sobrepondo a rocha sã.

A base 5, efetuada em localização particular, em fundo de vale, apresentou um horizonte superficial com 3 a 5 m de espessura de material com velocidade de 2300 m/s sobrepondo-se à rocha sã. Nesta localidade estava prevista a realização da base 6, perpendicular a 5, porém não foi levantada pois o desnível entre geofones seria demasiado para a aplicação do método.



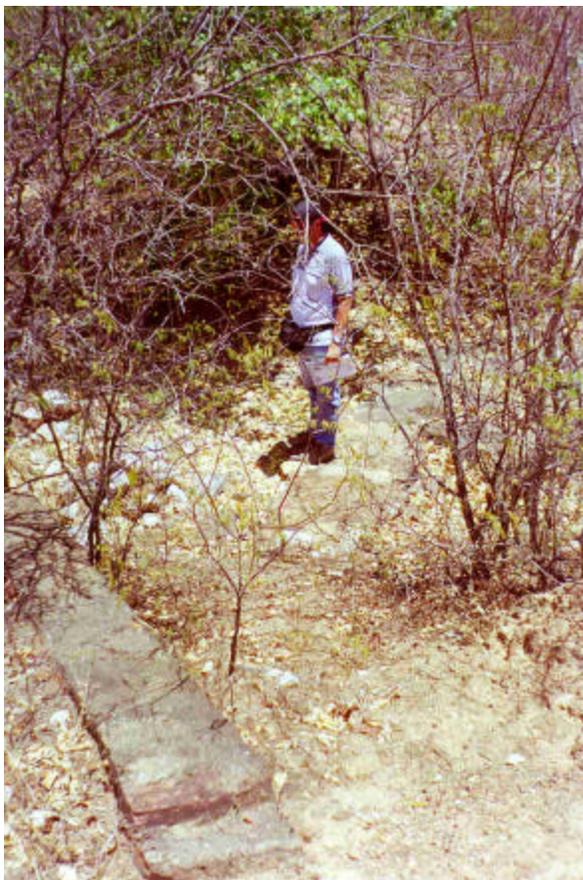
**FOTO 28:** Barragem Jatí - Vista da ombreira esquerda da barragem.



**FOTO 29:** Barragem Jatí - Vista da ombreira direita da barragem.



**FOTO 30:** Barragem Jatí - Canal de açude rompido a montante da barragem, com afloramentos de filito.



**FOTO 31:** Barragem Jatí - Vertedouro rompido do açude a montante do eixo da barragem.



**FOTO 32:** Barragem Jatí – Detalhe de poço com aproximadamente 2,20 m de profundidade, em aluvião, sem presença de água.

## 8.11 TÚNEL ANGICO

Este túnel, de 650 metros de comprimento, insere-se no domínio das rochas gnáissicas, com bandamento inclinado de  $25^{\circ}$  a  $45^{\circ}$  SW e direção  $N30^{\circ}W$ , intersectando o eixo do túnel a aproximadamente  $70^{\circ}$ , o que, em princípio, é favorável à estabilidade (Desenho 261-FUN-TSF-A1-B0338).

O maciço rochoso, a deduzir pelas indicações das duas sondagens mistas executadas nas proximidades dos emboques de montante e jusante, é são a pouco alterado, medianamente fraturado, com R.Q.D. médio de 73%. No reconhecimento de campo associado à análise de fotos aéreas, não foram identificados feições ou alinhamentos estruturais que pudessem sugerir a ocorrência de falhamentos mais significativos. É possível, no entanto, a

ocorrência de faixas localizadas de rocha de maior debilidade, devido a fraturamento mais intenso ou horizontes com predomínio de biotita nos planos de foliação.

A cobertura de rocha sobre a abóbada do túnel é de no mínimo 12 metros nos emboques, atingindo 20 metros no meio do túnel. A cobertura de solo e saprolito não é expressiva a 4,0 metros de espessura em ambos os emboques.

Em geral, o maciço rochoso, incluindo os emboques, foi classificado como classe II, segundo Bieniavski, o que implica em aplicação de concreto projetado com fibras de 5 cm de espessura e tirantes esporádicos de 10 t e 3 metros de comprimento. Conservativamente, foi adotada uma extensão de 50 metros em cada emboque, com revestimento secundário de 30 cm de concreto estrutural.

### **Emboques**

Os emboques de montante e jusante deverão ser executados com uma cobertura de rocha classe II, da ordem de 1,5 diâmetros. Esses emboques poderão ser executados com a utilização de tirantes de 10,0 t e 3,0 m de comprimento ao longo do coroamento da abóbada, instalados paralelamente ao eixo do túnel, em espaçamento de 0,3 m entre tirantes e chumbadores de 3,0 m de comprimento ao longo das paredes, os tirantes e chumbadores deverão ser recobertos com concreto projetado em uma faixa de 1,0 m de largura e 0,15 m de espessura, com fibra metálica em 40 Kg/m<sup>3</sup>, contornando a abóbada do túnel e paredes. Em função da qualidade do maciço rochoso exposto nesses emboques, poderão ser programadas escavações parcializadas ou a plena seção.

O desenho de Projeto Básico 261-FUN-TSF-A1-B0338 indica o maciço rochoso a ser escavado, as seções de escavação, os revestimentos projetados e as seções finais acabadas.

### **Investigações Realizadas**

Além das sondagens mecânicas e reconhecimento de campo acima citado, procedeu-se a execução de perfilagem sísmica.

- Perfilagem Sísmica:

Foram efetuadas 6 bases com 52 metros de extensão cada (geofones espaçados de 4 metros).

As bases 2, 4, 5 e 6 apresentaram uma camada superficial de material escavável a escarificável com cerca de 5 metros de espessura. A partir daí, encontra-se material com velocidade sísmica em torno de 2000 m/s, apresentando em certos locais, velocidades compatíveis a material de transição. A base 3 mostrou um horizonte com cerca de 2 metros de espessura de material escavável sobrepondo-se a material com velocidades sísmicas entre 2400 e 2800 m/s até profundidades variando de 4 a 9 metros, quando ocorre a rocha sã, com alta velocidade (maior do que 3300 m/s). Os dados obtidos na base 1 permitiram detectar uma camada superficial com velocidade sísmica de cerca de 800 m/s, coerente com a obtida nas outras bases, porém, a baixa qualidade dos dados não permitiu a definição de sua espessura, nem as velocidades dos demais horizontes.

## 8.12 TÚNEL MILAGRES – JATÍ

Este túnel, com 1440 metros de extensão, insere-se em pacote de rochas metapelíticas, tais como sericita xistos, filitos, metatufos e clorita xistos. No flanco de jusante, entre est. 122 + 200 e 123 + 200, ocorrem, na superfície do terreno, argilitos e arenitos sedimentares dispostos sobre as rochas metamórficas de idade proterozóica. Os sedimentos são supostamente paleozóicos e devem ali ocorrer isoladamente devido à discordância erosiva entre ambos ou, menos provavelmente, a falhamentos que rebaixaram os sedimentos (Desenho 261-FUN-TSF-B0340).

O emboque de montante apresenta cobertura detrítica pouco espessa, capeando o maciço rochoso de quartzo sericita xisto, com foliação N10°E a N20°E/60°SE, praticamente perpendicular ao alinhamento do túnel. A cobertura rochosa é de cerca de 15 metros de rocha fraturada, principalmente segundo a foliação e fraturas oxidadas, R.Q.D. de 30% a 50%, constituindo-se em maciço de classe III, segundo Bieniavski. Esta mesma condição geomecânica se prolonga por 800 metros ao longo do túnel, com cobertura rochosa sobre a abobada de 25 a 15 metros. A este maciço é prevista uma camada de concreto projetado de 5 cm e tirantes de 10 t e 3 metros de comprimento, em número de 5 por metro linear de túnel. Para os primeiros 50,0 m do túnel, é considerado revestimento permanente com 30 cm de concreto estrutural, além dos 5,0 cm de projetado.

Na metade jusante do túnel, as condições geomecânicas do maciço rochoso são sensivelmente inferiores, seja pela pequena cobertura rochosa, de 8 a 15 metros, seja pela própria condição de fraturamento e alteração dos metatufos e clorita xisto, com R.Q.D. de 15% a 20%. Caracteriza-se assim um maciço de classe IV, segundo Bieniavski, o que exige concreto projetado com espessura de 20 cm e atirantamento sistemático de 7 tirantes por metro linear de túnel. O trecho final de jusante, deve ser revestido com 30cm de concreto estrutural, ao longo de 50 metros de comprimento.

Os níveis d'água medidos nas sondagens mostram nível freático mais superficial em áreas topograficamente mais baixas e podem estar relacionados aos pequenos açudes existentes na área. Já a sondagem SM-TUN-01 apresenta N.A. a 17 m de profundidade, cerca de 10 m acima da calota do túnel. O maciço rochoso mostra-se relativamente pouco permeável, apesar de exibir fraturas oxidadas. Deve ser observada com interesse a verificação correta do N.A. e as possíveis implicações daí decorrentes.

### **Emboques**

O emboque de montante em rocha de classe III apresenta cobertura de maciço rochoso da ordem de 1,7 diâmetro. Pelas condições geológicas, o emboque poderá ser executado com a utilização de tirantes de 3,0 m de comprimento e 10,0 t, dispostos ao longo da abóbada e chumbadores ao longo da parede, recobertos por camada de concreto projetado em uma faixa de 1,0 m de largura e 0,15 m de espessura, com fibra metálica em 40,0 kg/m<sup>3</sup>.

O emboque de jusante será em maciço rochoso classe IV, com cobertura de rocha da ordem de 0,6 diâmetro. Esse emboque deve ser executado com maiores cuidados, prevendo-se o uso de enfilagem de vergalhões Ø 1", com comprimento de 8,0 m ao longo da abóbada e paredes, recobertos por concreto projetado de 1,0 m de largura e 0,15 m de espessura.

Tanto o emboque de montante como o emboque de jusante deverão ser revistos após as escavações do maciço rochoso e exposição da frente de emboque.

### **Investigações Realizadas:**

- Sondagens Manuais e Mecânicas:

Foram executadas três sondagens mistas ao longo do túnel, além de outras três sondagens locais além dos atuais emboques. Um poço manual foi aberto nos sedimentos paleozóicos, em tentativa de verificar o contato com os metassedimentos.

- Perfilagem Sísmica:

Nesta área foram executadas 10 bases longas e 2 bases com 39 metros.

A base 1 (extremo sudeste da área – emboque do túnel), detalhada com uma seção curta, apresentou horizonte escavável com espessura variando de 5 metros, seguido de material com velocidade sísmica ligeiramente maior, em contato com a rocha sã a profundidades variáveis de 5 a 9 metros.

A base 2 apresenta comportamento similar com horizonte superficial relativamente plano e menos espesso (3 a 4 metros) em contato com a rocha sã.

A base 3 mostrou camada superficial com 6 a 9 metros de espessura e velocidades sísmicas entre 1200 e 1500 m/s, sobre a rocha sã.

Na base 4, localizada praticamente no meio da região do túnel, ocorreu um horizonte superficial escavável e espessura de 9 metros sobre material com velocidades entre 1400 e 1700 m/s, não tendo sido detectada a rocha sã.

A base 5 (com 39 metros de extensão) também apresentou horizonte escavável de 2 a 3 metros de espessura sobre material de velocidade sísmica pouco superior a 1700 m/s.

A base 6 mostrou resultado semelhante, com horizonte escavável com 3 a 4 metros de espessura, intermediário com velocidade entre 1600 e 1800 m/s, porém com rocha sã a cerca de 13 metros de profundidade.

As bases 7 e 8, relativamente próximas entre si e na área do desemboque do túnel, apresentaram resultado semelhante, com horizonte escavável de 5 metros de espessura, seguido de material intermediário (velocidades entre 1800 e 2200 m/s na base 7 e entre 1500 e 1900 m/s na base 8) com espessura média de 8 a 10 metros que se sobrepõe à rocha sã a profundidades variando de 13 a 16 metros.

A base 9 apresentou material escavável até 7 a 8 metros de profundidade sobrepondo-se a material com velocidades entre 1200 e 1600 m/s, não tendo sido detectada rocha sã.

As bases 10 e 11 foram feitas interligadas e com sobreposição, tendo detectado, na camada superficial, a variação de velocidade de 800 a 1500 m/s no quarto inicial, mudando para 600 a 850 m/s nos três quartos finais; o contato desta camada com a inferior (pouco superior a 2000 m/s) é bastante irregular variando de 13 metros no início da ilha, passando por um mínimo (3,5 metros) no ponto de mudança de comportamento e estabilizando-se na metade final em cerca de 8 metros; a camada inferior também apresenta velocidades variáveis, iniciando com velocidades entre 2000 e 3000 m/s até os 30 metros do início da base, passando por uma zona de menor velocidade (1600 a 1900 m/s entre as distâncias de 30 a 54 metros), voltando a subir entre as distâncias de 54 a 114 metros (2000 a 2500 m/s), apresentando um pequeno trecho de velocidades entre 1800 e 2000 m/s (distância entre 114 e 126 metros) e finalizando com material de velocidade ligeiramente superior a 2000 m/s.



**FOTO 33:** Túnel Milagres-Jatí – Afloramento de arenito sobreposto a filito fino de coloração cinza esverdeada. Observam-se minerais cúbicos de 1mm, aparentemente metamórficos, dispersos na rocha. Região próxima ao emboque de jusante do túnel.



**FOTO 34:** Túnel Milagres-Jatí – Detalhe do filito que aflora sob arenito, em região próxima ao emboque de montante do túnel. Atitude do filito: N12E/ 32° SE.



**FOTO 35:** Túnel Milagres-Jatí – Região próxima ao emboque de jusante do túnel, em Pena-Forte.

### 8.13 AQUEDUTO LOGRADOURO

A inspeção feita no local do aqueduto mostra a ocorrência de afloramentos de lajes de gnaiss, com bandamento pronunciado N65°W/32°NE, em ambas as laterais do fundo do talvegue, conforme foto anexa.

Entretanto nem as duas sondagens mecânicas executadas a 200 e 120 m do eixo do aqueduto, nem mesmo as sondagens sísmicas, indicam a proximidade do topo rochoso à superfície. Admite-se que haja extrema variabilidade das condições geológicas no vale, oscilando entre espessuras de alguns metros de solos aluviais, interrompidos por afloramentos abruptos de lajes gnáissicas.

- Perfilagem Sísmica:

Foram efetuadas 3 bases longas e uma curta (39 m) na mesma localidade da base 1.

Nos três locais os resultados obtidos foram distintos. Na base 1, a análise conjunta das duas seções permite observar um horizonte com cerca de 0,5 m de espessura com velocidade de 1300 m/s sobrepondo-se a material com velocidade entre 1600 e 2200 m/s e finalmente a rocha sã em profundidades variando de 3 a 6 m. A base 2 revelou um horizonte de material de 1ª com espessura de cerca de 4 m, que se sobrepõe à rocha sã. A base 3 apresenta material com velocidades mais elevadas, cujo horizonte superficial (cerca de 3 m de espessura) possui velocidade sísmica de 2400 m/s seguido de rocha sã.



**FOTO 36:** Aqueduto Logradouro – Rocha aflorante a subaflorante. Gnaiss com bandamento pronunciado, o qual constitui planos de fraqueza da rocha. Atitude N65W/32°NE.

## 8.14 AQUEDUTO SACO DA SERRA

O vale largo é coberto de sedimentos aluviais arenosos com espessuras da ordem de 2,0 m sobre saprolito de gnaiss e topo rochoso posicionado a 4 m de profundidade. O nível freático não foi detectado nas sondagens SM-153 e SP-153. As fotos anexas ilustram o local.

- Perfilagem Sísmica:

Foram efetuadas 2 bases com 78 m de extensão cada e uma base com 39 m (geofones espaçados de 3 m).

A primeira base (mais a sudoeste da linha) revelou uma camada de material escarificável com espessura de 4 a 6 m, passando para material mais resistente e, a partir dos 15 m de profundidade, material de alta velocidade sísmica, compatível à rocha sã. Já a segunda base (detalhada com levantamento mais curto) evidenciou uma camada de material de baixa velocidade com 4 m de espessura, passando a material escarificável com mais 5 m de espessura e passando para rocha sã. Deve-se notar, no entanto, que nesta base a velocidade sísmica da segunda camada (cerca de 1500 m/s) pode estar associada à presença do nível freático e não apresentar diretamente a facilidade à escavação.



**FOTO 37:** Aqueduto Saco da Serra – Não existem afloramentos rochosos *in situ*, apenas alguns blocos rolados de granito-gnaiss no leito do rio.

### 8.15 AQUEDUTO TERRA NOVA

As condições geológicas neste vale são muito semelhantes àsquelas do aqueduto Mari, ou seja, vale aluvial bem amplo, com sedimentos aluvionares dispostos sobre o gnaiss e solos saprolíticos com espessuras da ordem de 3 m nas ombreiras.

- Perfilagem Sísmica:

Foram efetuadas 2 bases com 78 m de extensão cada e uma base com 39 m (geofones espaçados de 3 m).

Nas três bases foi detectado um horizonte superficial de solo com espessura variável, sendo mais espesso (até 10 m) na base 1, mais a sudeste, e menos espesso na base 2 (4 m). Quanto aos demais horizontes, observa-se um aumento de velocidade sísmica em direção nordeste, com a rocha sã a cerca de 12 m de profundidade na base 2 e a 6 m na base 3.



FOTO 38: Aqueduto Terra Nova - Não existem afloramentos rochosos. Foto do local de implantação do aqueduto.

### 8.16 AQUEDUTO MARI

Localiza-se em vale largo, com expressa cobertura de solos aluviais, da ordem de 6 a 8 m, dispostos diretamente sobre o topo rochoso de biotita gnaiss. Nas ombreiras ocorrem solos coluviais e saprolíticos.

Apesar das sondagens executadas para estudos anteriores não indicarem o posicionamento do nível freático, admite-se que o mesmo se encontra próximo à superfície no fundo do vale. As sondagens mais recentes encontram-se nas ombreiras, fora da planície aluvial.

- Perfilagem Sísmica:

Nesta área foram efetuadas 3 bases longas sendo que as duas primeiras foram detalhadas com bases curtas (39 m).

A análise conjunta das seções permite observar, na base 1 (mais a sudoeste) um horizonte com 4 m de espessura e velocidade entre 1600 e 1900 m/s sobrepondo-se a material com velocidade de 2600 m/s, enquanto a base longa mostra o contato com a rocha francamente sã próximo aos 10 m de profundidade. A base 2 apresentou um horizonte de solo com 8 m de espessura sobrepondo-se à rocha sã. O mesmo comportamento é observado na base 3, porém, com o contato mais raso (em torno de 6 m).



**FOTO 39:** Aqueduto Mari - Local de implantação do aqueduto na planície aluvial.

## 8.17 AQUEDUTO SALGUEIRO

No local do aqueduto, sobre o córrego Salgueiro, identifica-se um depósito aluvial no talvegue que chega a atingir profundidade de 9 m na sondagem SM-111, sobre rochas xistosas com intrusões ácidas, as quais chegam a aflorar nas ombreiras, mas geralmente cobertas por espessuras da ordem de 2 m de solo e saprolito.

- Perfilagem Sísmica:

Nesta localidade foram efetuadas 3 bases longas e 1 base curta (39 m) coincidente com a base 2.

A base 1 (oeste da área) apresentou horizonte de solo com 2 m de espessura seguido de horizonte com velocidades sísmicas entre 1450 e 1650 m/s e 8 m de espessura que se sobrepõe a material de velocidade sísmica de 2500 m/s à profundidade de 10 m. Deve-se notar que o segundo horizonte pode ter sua velocidade definida pela presença do nível freático.

A base 2 apresentou, em sua parte inicial (confirmada pela base curta) horizonte de 5 m de espessura e velocidades entre 450 e 600 m/s cuja espessura aumenta para o final até chegar a 11 m. Tal material sobrepõe-se à rocha sã.

A base 3 apresentou cerca de 5 m de material com velocidade entre 1100 e 1600 m/s que se sobrepõe à rocha sã.



**FOTO 40:** Aqueduto Salgueiro - Região onde ocorrem xistos cortados por diques de rocha ácida com 1,0 a 1,5 m de espessura em geral. Estes afloramentos estão ao lado dos sedimentos aluviais.

## 9. MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO

### 9.1. CONCEITOS E PRESSUPOSTOS

Definem-se como solos de empréstimo os materiais superficiais terrosos, incoerentes e de granulometria predominante areno-silto-argilosa, que permitem compactação adequada como aterro. Inclui-se nesta designação solos aluviais areno-argilosos, solos coluviais e solos saprolíticos. Estes últimos são entendidos como solos "in situ", com vestígios da estrutura da rocha matriz, e que são considerados como material de 1<sup>a</sup> categoria quanto à escavação.

São os solos saprolíticos, quando não apresentam quantidades apreciáveis de fragmentos rochosos, perfurados por ferramentas de percussão convencional, permitindo a obtenção do índice SPT. Apresentam velocidade de onda longitudinal de até 800 m/s a 1000 m/s.

No sertão nordestino, em face de pouca frequência de chuvas, estes solos saprolíticos apresentam-se ressecados, dificultando ou até impossibilitando a sua penetração através de pá e picareta em poços manuais. Este fato reveste-se de importância, pois a investigação tradicional de áreas de empréstimo de solo baseia-se em sondagens a trado e poços manuais, cujo alcance em profundidade é em geral restrito, penalizando sobremaneira a avaliação correta da espessura de solo em toda a região. Assim, as áreas investigadas em estudos anteriores, anteprojeto de 1984 e projeto básico de 1994, revelaram espessuras médias da ordem de 0,4 a 0,8 m de solo. A guisa de ilustração, estas áreas, quando próximas ao traçado, estão assinaladas nas plantas geológicas.

Saprolitos são definidos como materiais de transição entre solo e rocha, posicionando-se acima do topo rochoso. Caracteriza-se como material de 2<sup>a</sup> categoria quanto à escavação e apresentam velocidade de onda longitudinal de 800 a 1600 m/s. Trata-se de horizonte onde predominam fragmentos centimétricos a decimétricos de rocha alterada, mais ou menos imbricados e envoltos por quantidades variáveis de material areno-silto-argiloso incoerente. O aspecto do material é heterogêneo e variável, mas essencialmente dependente do tipo litológico. O aspecto importante deste material é que, quando escavado, transportado e compactado, apresenta características

favoráveis como aterro compactado, devido ao destorroamento e à desagregação dos fragmentos rochosos alterados. Dentre alguns, são exemplos marcantes desta utilização o núcleo impermeável da barragem da UHE Itaparica, o açude Serrinha, os diques da UHE de Paulo Afonso IV e a barragem de AM Manso, construídos com saprolitos. A escavação nesses materiais se processa por meios mecânicos, através de escarificação, em geral sem auxílio de fogachos.

Este conceito foi adotado no projeto, de modo que as escavações obrigatórias em solo e saprolito serão utilizadas como fonte prioritária de solo de empréstimo nas obras de canais e barragens. Os estudos de balanceamento de materiais de corte e aterro permitem afirmar que, em princípio, não haverá necessidade de exploração de áreas de empréstimo de solo fora da faixa de desapropriação do eixo do canal e dos barramentos previstos. Quando as distâncias elevadas inviabilizarem economicamente o transporte, serão explorados empréstimos preferencialmente nas áreas dos reservatórios.

Admite-se, por princípio, que a escavação de material rochoso em granitos, migmatitos, gnaisses e sienitos, que são predominantes na área do projeto, há de produzir material britado de boas características geomecânicas, quanto à resistência e forma de fragmentos, que poderão ser empregados como fonte para escoramento, transições e fabricação de concreto.

Litologias tais como xistos, filitos, arenitos, siltitos e argilitos, por se tratarem de rochas brandas e/ou muito foliadas, não apresentam boas características tecnológicas para a produção de materiais granulares, especialmente para a fabricação de concreto. Onde houver predominância extensiva desta litologias, julgou-se prudente prever a exploração de pedreiras a distâncias de até 20 km dos locais de sua utilização, de litologias mais adequadas.

Jazidas de areia e cascalho foram localizadas ou indicadas ao longo do traçado, com avaliação superficial do seu potencial e das suas características, em faixa de até 20 km de afastamento do traçado.

## **9.2 RECURSOS ATUALMENTE EM EXPLORAÇÃO**

### **9.2.1 Pedreiras**

Devido à grande quantidade de volume de material a ser removido para as escavações do canal, principalmente no domínio das rochas granitóides (gnaisses, migmatitos, sienitos, granitos, etc.) em todos os trechos, a necessidade de obtenção de materiais de pedreiras se restringe, em geral, aos trechos inseridos no domínio das rochas sedimentares paleozóicas e nas grandes extensões do traçado em xistos e filitos.

A presença de pedreiras em atividade e britadores na região - bem como o consumo de brita - é muito pequena, estando restrita aos principais centros regionais.

A cidade de Sertânia possui britador com capacidade de 4.000 m<sup>3</sup>/mês, fornecendo cerca de 3.000 m<sup>3</sup>/mês para 34 cidades do sertão, dentre elas Monteiro - PB, Custódia - PE, Cruzeiro do Nordeste - PE, Sumé - PE, Ibimirim - PE, Floresta - PE e até Salgueiro - PE. Outros britadores de médio porte estão localizados em Crato - CE, Patos - PB, Petrolina - PE e Paulo Afonso - BA, sendo que estes 5 locais abastecem praticamente todo o sertão. Britador pequeno, com alimentação manual e brita tendendo ao lamelar, está localizado em Salgueiro e Cabrobó (desativado).

### **9.2.2 Jazidas de Areia**

A exploração de areia natural se justifica até a distância de 10 km do local de uso, a partir da qual perde em custo para areia artificial. As areias das planícies aluviais observadas possuem granulometria muito heterogênea, incluindo areias grosseiras, médias e finas, por vezes siltosas. São observados, inclusive, horizontes mais argilosos. Nos aluviões situados nos domínios dos xistos e filitos e nos sedimentos mesozóicos, predominam planícies argilo-siltosas a arenosas finas. É bastante freqüente a presença de fornos para o fabrico de tijolos ao longo destas planícies.

No domínio das rochas granitóides, os aluviões são mais heterogêneos, essencialmente arenosos, porém com variações granulométricas muito grandes.

Nos vilarejos e nas cidades sempre existe algum eixo de drenagem, de cujo vale é retirada areia mais grossa (areia predominantemente média), utilizada para a construção. As jazidas são de pequeno porte, com cerca de 500 a 3000 m<sup>3</sup>, com areias mal selecionadas, de granulação média a grossa, com grânulos subangulosos de quartzo, algum resto de matéria orgânica, principalmente galhos e raízes, e espessuras raramente superiores a 3,0 m, o que obrigaria à lavagem desse material antes de sua utilização, o que é extremamente problemático na região, face aos volumes requeridos para as obras do PTSF.

De 5 amostras de areias coletadas e ensaiadas em laboratório para o Projeto Básico de 94, 4 se mostraram inadequadas para uso na fabricação de concreto.

### **9.2.3 Cascalheiras**

No domínio dos xistos ocorrem cascalheiras formadas essencialmente por fragmentos de quartzo de veios. Estas cascalheiras são superficiais, atingindo espessuras médias de apenas 0,50 m. Os fragmentos são angulosos e variam de centimétricos a decimétricos, estando freqüentemente imersos em matriz argilosa, com cerca de 30% de fragmentos e camada de estéril variando de 0,0 a 1,0 m.

Leitos de cascalho também ocorrem nos sedimentos aluviais, mas sua expressão volumétrica é muito restrita.

## **9.3 RECURSOS DISPONÍVEIS**

### **9.3.1 Pedreiras**

O Trecho I desenvolve-se em rochas do embasamento cristalino, até 1 km a norte de Pena Forte. Predominam gnaisses e migmatitos, com intercalações granitóides e passagens em xistos e filitos por cerca de 30 km. A partir de então, o canal segue por rochas sedimentares, arenitos paleozóicos ao longo de 14 km, retornando a filitos e meta vulcânicas nas proximidades da Barragem Jatí.

Aspecto importante relaciona-se ao cruzamento do traçado com lineamento estrutural de Pernambuco, onde as rochas encontram-se muito foliadas e fragmentadas entre as coordenadas N9.074.090/E4.620.950 e N9.080.630/E4.621.090, com a provável produção de fragmentos lamelares.

Foram identificadas as locações para pedreiras apresentadas na Tabela 9.1.

**TABELA 9.1**  
**ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE PEDREIRAS**

JAZIDA	COORD.		TIPO DE ROCHA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
	N	E			
01 - JATI	9.148.400	499.700	Metabásicas	5.000	50.000
02 - JATI	9.148.312	499.729	Metabásicas e Calciosilicáticas	5.000	50.000
03 - TERRA NOVA	9.091.130	453.780	Gnaisse	50.000	1.000.000
04 - TERRA NOVA	9.091.060	457.480	Gnaisse	10.000	300.000
05 - ATALHOS	9.156.250	513.250	Granito	N.D.	250.000

Outras áreas promissoras foram identificadas ao longo de todo o trecho, listadas na Tabela 9.2 a seguir.

**TABELA 9.2**  
**OUTRAS ÁREAS PARA LOCAÇÃO DE PEDREIRAS**

ÁREA	COORDENADAS		ALUVIÃO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
	N	E			
01 - PARNAMIRIM	9.102.321	465.520	Areia média a grossa	500	3.000
02 - PARNAMIRIM	9.102.449	467.243	Areia média a grossa	2.500	10.000
03 - PARNAMIRIM	9.088.553	450.847	Areia média a grossa		

**9.3.2 Jazidas de Areia**

As areias observadas são em geral de granulação média, com teores de finos entre 10 e 30%. Areia mais grossa foi observada na região de Contenda e na fazenda Tamboril, nas proximidades de Umãs, e nas localidades indicadas na Tabela 9.3.

**TABELA 9.3**  
**ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE JAZIDAS DE AREIA**

	COORDENADAS		TIPO DE ROCHA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
	N	E			
06 - CABROBÓ	9.055.500	448.950	Gnaisses e Migmáticos	N.D.	não determinado
07 - SALGUEIRO	9.111.621	488.045	Granito Gnaisse	N.D.	não determinado

Para uso doméstico, é utilizada areia dos pequenos córregos da região (Brígida, Terra Nova, Riacho dos Cavalos, Riacho Jardim). Dadas as grandes distâncias de transporte às obras do PTSF, o uso de areias artificiais se tornará mais viável em grande parte do Trecho I.

**9.3.3 Cascalheiras**

Foram observadas ocorrências de cascalho sobre os xistos, formando depósitos superficiais com até 0,30 cm de espessura. Os fragmentos são formados por quartzo de veio, que se segregam em superfície. São angulosos, de tamanhos que variam de poucos centímetros a decimétricos.

Não foram identificadas cascalheiras no domínio dos sedimentos paleozóicos, a norte de Pena Forte, apesar destes sedimentos serem constituídos principalmente de arenitos grosseiros a conglomeráticos.

**9.3.4 Dados do levantamento efetuado nos municípios onde se encontra o traçado do Trecho I**

Esses dados encontram-se apresentados no Quadro 9.1, a seguir.

**QUADRO 9.1  
ORIGEM DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NOS MUNICÍPIOS DO TRECHO I**

<b>CIDADE</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>
CABROBÓ	Retirada dos córregos da região, como o Brígida e o Terra Nova. (geralmente de granulação média, mal selecionada, com alguns bolsões argilosos).	Proveniente de Petrolina ou Salgueiro.
TERRA NOVA	Retirada do Riacho dos Cavalos ou do riacho Terra Nova. O município não consome mais do que 100 m <sup>3</sup> /mês. No riacho dos Cavalos são encontrados alguns pequenos bolsões (ate 200 m <sup>3</sup> ) de areia grossa.	Proveniente de Salgueiro ou Petrolina.
SALGUEIRO	Retirada em pequenos riachos na região de Contendas e Fazenda Tamboril (próximo à estrada para Umãs). Areia média grossa, heterogênea com níveis decimétricos de finos.	Produzida em Salgueiro, brita lamelar tendendo a cúbica (britador com alimentação manual de baixa qualidade). Para alguns empreendimentos que necessitam de brita de melhor qualidade, a brita é comprada de Sertania.
PARNAMIRIM	Retirada em pequenos riachos na região de Contendas e Fazenda Tamboril próximo à estrada para Umãs.	Proveniente de Salgueiro.
JATÍ e PENA FORTE	Retirada do riacho Jardim e pequenos afluentes. Areia grossa pode vir de Salgueiro (Fazenda Tamboril).	Proveniente de Salgueiro.

**9.4 EXECUÇÃO DE POÇOS MANUAIS E COLETA DE AMOSTRAS**

Foram executados 24 poços manuais com o objetivo de estabelecer o perfil dos horizontes de solo e de coletar amostras para ensaios laboratoriais.

A locação dos poços encontra-se nas plantas que contém as seções geológico-geotécnicas das estruturas e a descrição dos poços, assim como os resultados dos ensaios, encontram-se no anexo IV, ordenados de montante para jusante.

Os poços foram abertos em três situações distintas:

- a) Próximos aos eixos das barragens, para caracterizar o material ocorrente na área dos reservatórios. Assim, foram executados três poços em Tucutú, Terra Nova, Mangueira, Jatí e Negreiros; 4 poços em Milagres e apenas um em Serra do Livramento, em razão da grande predominância de afloramentos rochosos neste último sítio.
- b) No material escavado de duas trincheiras abertas com o escarificador, para caracterizar o saprolito de gnaiss milonítico na TR-3 e de filito na TR-5.
- c) No bota-fora das escavações do vertedouro da Barragem Atalho, para caracterizar o saprolito de filito. Apesar deste local estar afastado do Trecho I da PTSF, julgou-se importante amostrar este material que também ocorre em extensas áreas do trecho em consideração, para avaliar suas características de granulometria, permeabilidade, compactação e de eventual expansividade.

Apesar da diversidade de solos ensaiados, como aluviões arenosos, aluviões argilosos, solos coluviais e saprolíticos de diversas litologias, coberturas detríticas indiscriminadas, verifica-se que de maneira geral, os solos são bem graduados e apesar de sua pouca espessura, apresentam boas características de compactação. Quanto aos saprolitos ensaiados das trincheiras e do bota-fora de Atalho, os ensaios demonstram que o material compactado exibe baixa permeabilidade, o que confirma as observações de campo, e não apresenta característica de expansividade.

Os ensaios foram executados no laboratório de solos e instrumentação do Depto. de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.



**FOTO 41:** Jaz.03 (Terra Nova) - Pequeno serrote de rocha granitóide pouco foliada. Granito-gnaissé com boa potencialidade para uso como Pedreira.



**FOTO 42:** Cascalheira superficial sobre micaxistos.



**FOTOS 43 e 44:** ARE.02 - Aluvião com areia média a grossa, razoavelmente homogênea. Nesta área, a empresa Queiroz Galvão retirou areia durante construção da estrada Salgueiro – Parnamirim.



**FOTOS 45 e 46:** Britador na Região de Salgueiro, com três tamanhos: Brita 0 - Brita 1 - Pedrisco.

***Anexo I***

***Estudo de Escavabilidade Através da Execução de  
Trincheiras***

---

## 1. GENERALIDADES

No intuito de obter alguma comprovação prática para as conceituações e formulações meramente teóricas quanto à classificação dos materiais em categorias de escavação, procedeu-se à escolha de alguns locais de ocorrência de litologias típicas que serão atravessadas pelo traçado da Transposição do Rio São Francisco, para execução de escavação experimental e correlacionar essas informações com os dados obtidos das sondagens mecânicas e de refração sísmica.

As trincheiras foram executadas com a utilização de uma retroescavadeira modelo FX-200 Fiatallis e um trator modelo Caterpillar D8L provido de lâmina e de um dente escarificador, fornecidos pela DNOCS.

### TRINCHEIRA 01

<b>Coordenadas:</b>	N- 9122029 E- 491580
<b>Material:</b>	Xisto Proterozóico
<b>Comprimento:</b>	41,0 m
<b>Largura:</b>	8,0 m
<b>Altura:</b>	8,0 m
<b>Horas trabalhadas:</b>	Escavadeira: 25 h D8: 10 h
<b>Produção:</b>	Escavadeira: ~75 m <sup>3</sup> /h (ajudando na retirada de material empurrado pelo D8) D8: ~87 m <sup>3</sup> /h

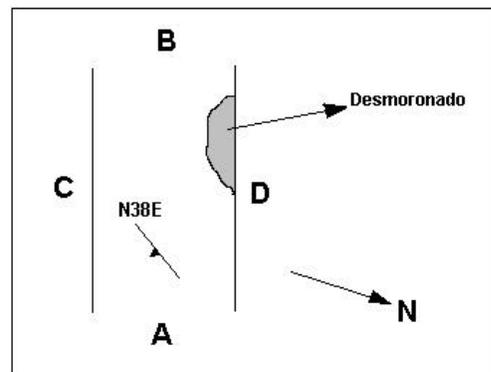
**Sentido da escavação:** S75W

**Descrição:**

- 0,00 a 0,40 - colúvio argiloso com fragmentos de xisto e quartzo;
- 0,40 a 3,00 - solo saprolítico;
- 3,00 a 8,00 - saprolito de xisto a xisto falhado, cisalhado, de cor azulada. Medidas da atitude da foliação: N38E/34SE, N48E/38SE, N36E/40SE e N52E/32SE.

**Atitudes de falhas e fraturas:**

- Fratura decimétrica que ocorre na parede **C**: N15E/78SE;
- Fratura decimétrica que ocorre na parede **D**: N60W/80NE e N72W/70NE;
- Falha que ocorre na parede **D**: N32E/72NW;
- Superfície de ruptura do desmoronamento, conjugada com a foliação: N10E/85SE.



**Observações Gerais:**

Nas paredes **A** e **B**, as suas metades mais próximas a **D** são de fácil escavação, e as metades próximas a **C** são de difícil escavação, devido ao mergulho da foliação, pois quando esta mergulha para dentro da parede escavada o trabalho é muito dificultado. A rugosidade de ambas as paredes é da ordem de 5,0 cm, podendo chegar, nas proximidades da parede **D**, a 20,0 cm.

A parede **C** apresenta-se bastante resistente à escavação, devido ao rumo do mergulho da foliação (para dentro da parede). Entretanto é a parede que apresenta a menor rugosidade, no geral inferior a 5,0 cm.

A escavação na parede **D** mostrou-se mais fácil que nas demais, com a foliação mergulhando para dentro da trincheira. A rugosidade é da ordem de 5,0 a 30,0 cm. Esta face é sujeita a desmoronamentos, o que ocorreu durante a escavação.

O material escavado mostrou-se de difícil compactação, e, durante a escavação, não causa desgaste no equipamento.

Esta trincheira foi reaterrada.

### **Perfilagem Sísmica:**

Nesta área foram efetuadas duas bases, uma curta, com 39 metros de extensão e paralela à trincheira, e uma base com 78 metros de extensão, perpendicular à trincheira.

A base curta revelou um horizonte escavável com 3 metros de espessura sobrepondo-se a material escarificável (2000 a 2200 m/s de velocidade sísmica) que se encontra em contato com a rocha sã à profundidade de 8 a 10 metros, mostrada pela seção longa.

A comparação destes dados com a escavação propriamente dita é bastante favorável, sugerindo que as litologias de xistos e filitos, quando fraturados, permitem a escavação por meios mecânicos até velocidades sísmicas de 2.000 a 2.2000 m/s, compatíveis com profundidades em torno de 8 metros.

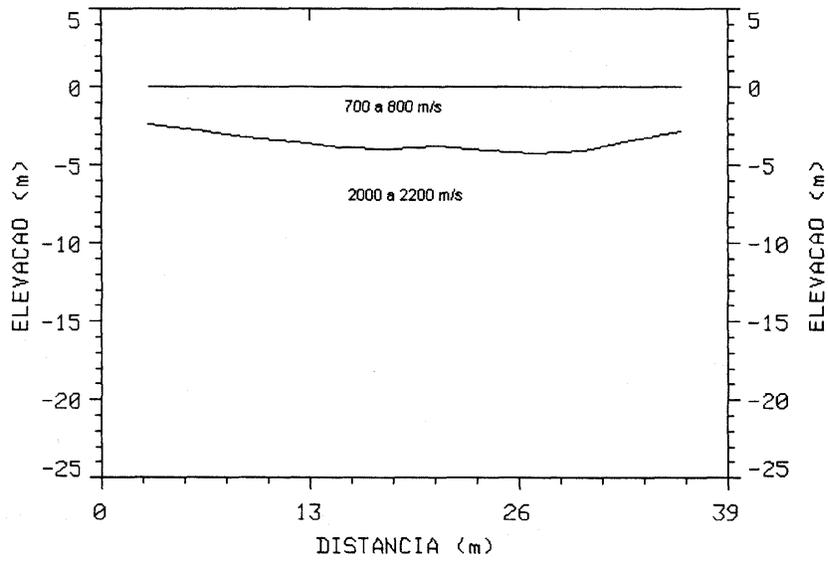
### Perfis Sísmicos:

- SS-TR1-1:

Coordenadas: N-9.122.047  
E-0.491.606

Rumo: 172° (azimutal)  
Extensão: 39 metros

Modelo de Velocidades

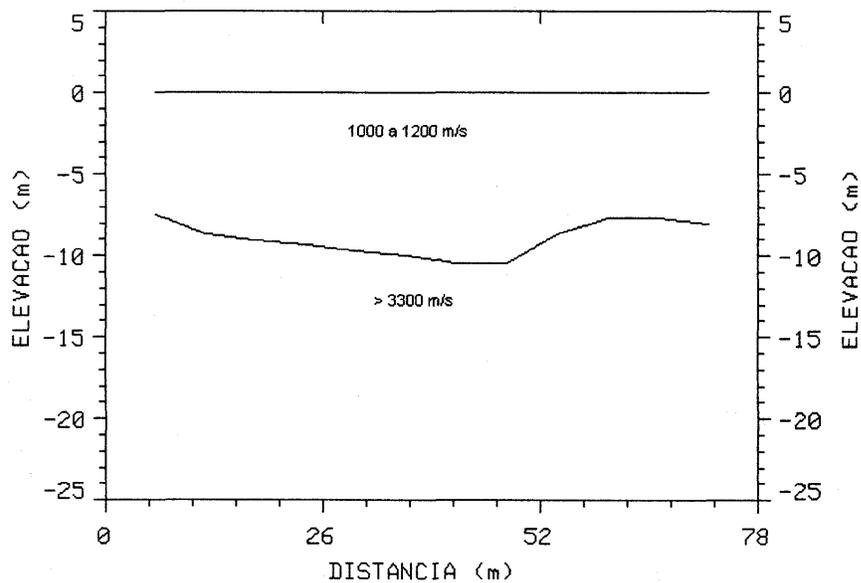


- SS-TR1-2:

Coordenadas: N-9.122.048  
E-0.491.663

Rumo: 285° (azimutal)  
Extensão: 78 metros

Modelo de Velocidades





**Foto 1 – Vista geral do escorregamento da parede D.**



**Foto 2 – Detalhe da abertura da trincheira**

**TRINCHEIRA 02**

<b>Coordenadas:</b>	<b>N-</b> 9108650	<b>E-</b> 479392
<b>Material:</b>	Sienito	
<b>Comprimento:</b>	32,5 m	
<b>Largura:</b>	7,0 m	
<b>Altura:</b>	1,2 m	
<b>Horas trabalhadas:</b>	Escavadeira: 2,5 h  D8: 0 h (devido ao pouco fraturamento da rocha o trator não conseguiu escarificá-la).	
<b>Produção:</b>	Escavadeira: ~109,2 m <sup>3</sup> /h	
<b>Sentido da escavação:</b>	N45E	
<b>Descrição:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- 0,00 a 1,00 m - solo colúvio/residual com grãos milimétricos de quartzo e alguns de feldspato. Cor marrom claro a marrom avermelhado;</li><li>- 1,00 a 1,20 m - solo saprolítico a saprolito bastante homogêneo, com grãos de feldspato alterado e quartzo;</li><li>- 1,20 m - sienito homogêneo, de granulometria fina a média, com pouco quartzo, feldspato, alguma biotita e máficos.</li></ul>	

**Observações Gerais:**

O topo rochoso apresenta-se bastante regular, com desníveis de, no máximo, 40 cm. Rocha pouco fraturada (o que dificultou a ação do escarificador); não foi possível verificar a orientação das fraturas, as quais possuem um "filme" de óxido de manganês em suas paredes.

Esta trincheira foi reaterada.

### Perfilagem Sísmica:

Este levantamento foi efetuado fora da posição da trincheira, porém próximo de sua área. Foram efetuadas duas bases, uma longa e outra curta, sendo que ambas detectaram um horizonte pouco espesso (variando de 0,5 a 5 metros) de material escarificável sobrepondo-se à rocha sã.

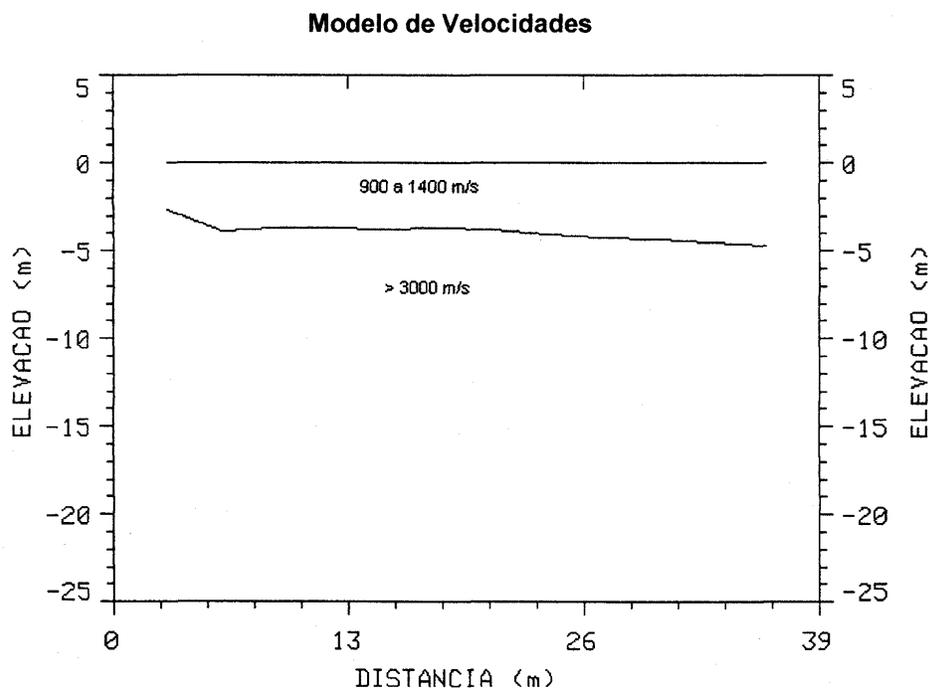
Os dados da sísmica de refração comprovam a ocorrência de horizonte pouco espesso de solo e saprolito, dificultando sobremaneira o avanço por escarificação nesta litologia.

### Perfis Sísmicos:

- **SS-TR2-1:**

**Coordenadas: N-9.108.654  
E-0.479.391**

**Rumo: 196° (azimutal)  
Extensão: 39 metros**



- SS-TR2-2:

Coordenadas: N-9.108.616  
E-0.479.402

Rumo: 286° (azimutal)  
Extensão: 78 metros

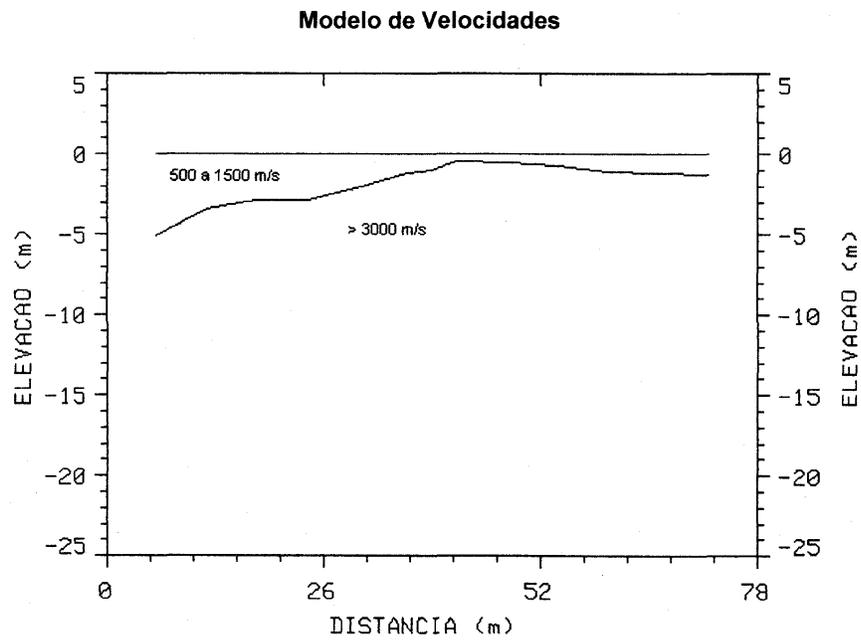


Foto 3 – Trincheira 2, vista geral.

**TRINCHEIRA 03**

<b>Coordenadas:</b>	<b>N-</b> 9086028	<b>E-</b> 461266
<b>Material:</b>	Biotita gnaïsse	
<b>Comprimento:</b>	44,5 m	
<b>Largura:</b>	12,5 m	
<b>Altura:</b>	8,0 m	
<b>Horas trabalhadas:</b>	Escavadeira: 21 h D8: 5 h	
<b>Produção:</b>	Escavadeira: ~106,0 m <sup>3</sup> /h (ajudando o D8 na retirada do material) D8: ~216,5 m <sup>3</sup> /h	
<b>Sentido da escavação:</b>	S15W	
<b>Descrição:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- 0,00 a 0,50 m - colúvio argiloso com fragmentos de quartzo de até 15,0 cm;</li><li>- 0,50 a 4,00 m - solo saprolítico de biotita gnaïsse, material de 1<sup>a</sup> categoria de escavação;</li><li>- 4,00 a 8,00 m - saprolito de biotita gnaïsse, material de 2<sup>a</sup> categoria de escavação;</li><li>- 8,00 m - porção ultramilonitizada de uma biotita gnaïsse, rocha sã. Ocorrem bandas boudinadas com espessuras de 15,0 a 40,0 cm constituídas por quartzo recristalizado, intercaladas a bandas compostas por praticamente apenas biotita e também bandas pegmatóides. As bandas mais quartzosas formam as porções mais resistentes ao desmonte. Atitude do bandamento: N76E/76SE e N70E/70SE.</li></ul>	

**Atitudes de falhas e fraturas:**

- Fraturas centimétricas a decimétricas: N05E/45SE
- Fraturas decimétricas a métricas: N80W/62SW - esse sistema de fraturamento forma cunhas com a foliação.

**Observações Gerais:**

A água da chuva escoar com muita facilidade, ocasionando grandes enxurradas, indicando que o solo superficial é bastante impermeável.

A primeira tentativa de escavação da trincheira foi abortada devido ao seu alagamento pela chuva. Durante o período de cinco dias (nos quais não ocorreram mais chuvas) o N.A. da trincheira foi observado, tendo-se notado que o mesmo permaneceu inalterado, o que evidencia a impermeabilidade do material após a escavação.

No trecho de material de 1ª categoria a rugosidade é muito pequena, chegando, em alguns pontos, a 5,0 cm, no máximo. Já na porção escarificada ocorrem saliências que podem chegar a 20,0 cm, mas em média variam entre 5,0 e 10,0 cm. O comportamento das duas paredes laterais é semelhante, tendo em vista que a trincheira foi escavada perpendicularmente à foliação. Na escavação paralela à foliação a parede fica lisa e praticamente sem rugosidades.

A compactação do material é boa, ocorrendo a desagregação das placas oriundas da foliação.

Neste tipo de material praticamente não há desgaste de equipamento durante a escavação.

Por solicitação do proprietário do terreno, esta trincheira foi mantida aberta.

**Perfilagem Sísmica:**

Nesta localidade foram efetuadas uma base longa e uma base curta (39 metros). No entanto, devido a algum problema instrumental não foi possível acessar os dados da base curta, ficando a análise limitada à base longa, que revelou um horizonte superficial escavável com 1,5 metros de espessura sobrepondo-se a material de velocidade sísmica entre 1.000 e 1.400 m/s e espessura de cerca de 9 metros, que se encontra em contato com a rocha sã a cerca de 10 metros de profundidade.

Os dados da escavação são perfeitamente coerentes e correlacionáveis com as velocidades sísmicas obtidas às diferentes profundidades.

A lamentar apenas a falta de representatividade do tipo litológico, pois a intenção era a de explorar uma biotita gnaiss típico da região e verificar seu comportamento à escavação. Infelizmente a litologia local corresponde a uma rocha foliada, milonitizada, talvez mais próxima de xistos e filitos do que propriamente a uma biotita gnaiss que ocorre nas imediações.

### Perfis Sísmicos:

- **SS-TR3-1:**

**Coordenadas: N-9.086.037  
E-0.461.250**

**Rumo: 195° (azimutal)  
Extensão: 78 metros**

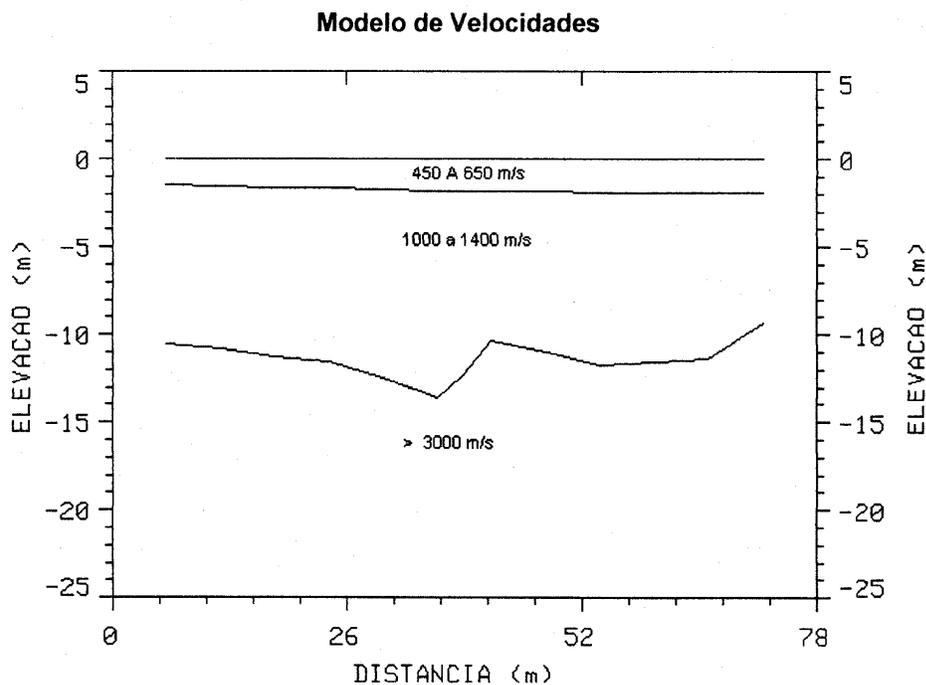




Foto 4 – Notar inclinação dos taludes e profundidade da escavação.



Foto 5 – Vista geral da escavação.



Foto 6 – Observar pequena rugosidade da parede.

## TRINCHEIRA 04

<b>Coordenadas:</b>	<b>N-</b> 9143122	<b>E-</b> 493141
<b>Material:</b>	Arenito Paleozóico	
<b>Comprimento:</b>	38,5 m	
<b>Largura:</b>	8,7 m	
<b>Altura:</b>	4,0 m	
<b>Horas trabalhadas:</b>	Escavadeira: 8 h D8: 4,5 h	
<b>Produção:</b>	Escavadeira: ~52,5 m <sup>3</sup> /h (ajudando o D8 na retirada do material) D8: ~155 m <sup>3</sup> /h	
<b>Direção da escavação:</b>	paralela à direção do canal no local (N70E).	

- Descrição:**
- 0,00 a 1,00 ou 1,50 m - cobertura areno-siltosa, com níveis centimétricos de cascalho. Material de 1ª categoria de escavação;
  - 1,00 ou 1,50 a 4,00 m - arenito arcossiano maciço, com estratos de areia fina a grossa, poroso, friável após ser partido, porém enquanto rocha comporta-se com muita resistência e difícil desmonte;

**Atitudes de falhas e fraturas:**

Fraturas métricas: 1º sistema: N58E/85NW (preenchidas por óxido de ferro).

2º sistema: N78E/84SE.

**Observações Gerais:**

A escarificação é complicada e lenta, a trincheira tende a fechar na base, pois o D8 não consegue acertar as paredes com a lâmina, sendo que o trator patina lateralmente, tal a resistência do maciço rochoso; o ideal para a escavação seria um fogacho executado preliminarmente à escarificação; Esse arenito pode ser classificado como material de 2ª/3ª branda.

As paredes são bastante irregulares, havendo rugosidades de 5,0 a 10,0 cm em média e chegando por vezes a 25,0 cm;

A compactação é muito boa, sendo que a areia é de boa qualidade como material de empréstimo para a obra;

O desgaste do equipamento foi grande, principalmente do escarificador, sendo que uma mangueira do hidráulico do D8 se rompeu.

Esta trincheira foi mantida aberta.

**Perfilagem Sísmica:**

Nesta área foram efetuadas duas bases, uma curta, com 39 metros de extensão e paralela à trincheira e uma base com 78 metros de extensão perpendicular à trincheira.

A base curta revelou uma camada superficial escarificável com 4 metros de espessura sobrepondo-se a material com velocidade de 2000 m/s, não detectado o contato com rocha sã.

A base longa apresentou uma camada escavável com espessura entre 1 e 2 metros sobrepondo-se a material escarificável com espessura variando de 8 a 11 metros, em contato com a rocha sã.

A correlação entre a escavação e as velocidades sísmicas foi de razoável a sofrível. A velocidade sísmica em arenitos é atenuada mais em função de sua porosidade intrínseca do que a fraturamento ou relaxamento do maciço devido à proximidade da superfície.

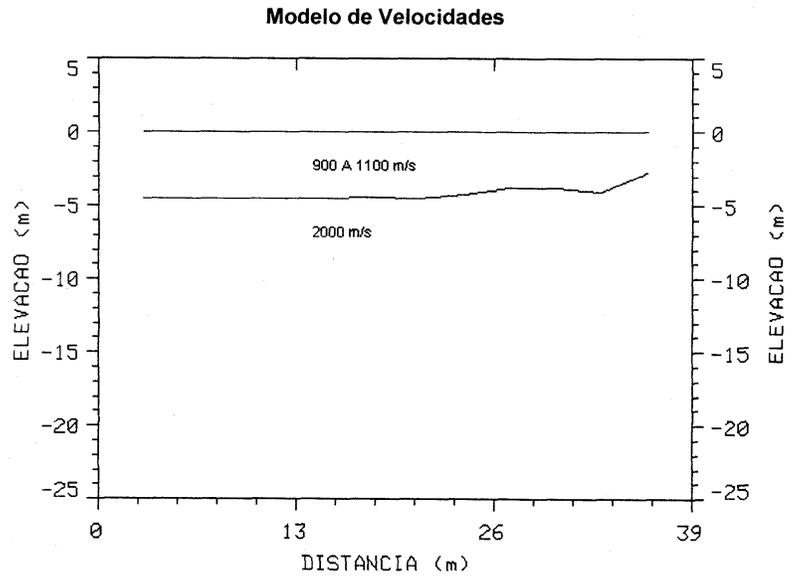
Assim, explica-se que horizontes com velocidades da ordem de 1.500 m/s correspondam a maciços resistentes à escarificação, necessitando de eventual fogaço para seu prosseguimento abaixo dos 4 metros de profundidade.

## Perfis Sísmicos:

### - SS-TR4-1:

Coordenadas: N-9.143.147  
E-0.493.119

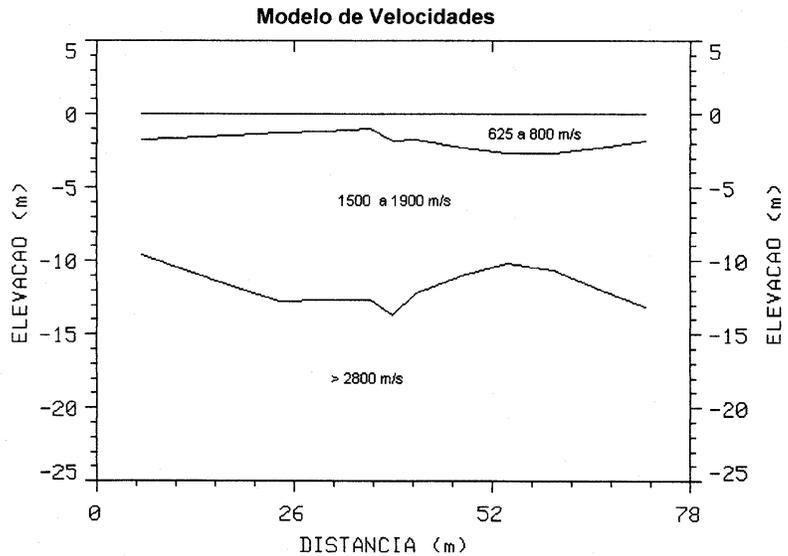
Rumo: 114° (azimutal)  
Extensão: 39 metros



### - SS-TR4-2:

Coordenadas: N-9.143.175  
E-0.493.117

Rumo: 204° (azimutal)  
Extensão: 78 metros





**Foto 7 – Detalhe da penetração rasa da escavadeira (1,0 a 1,5 m) .**



**Foto 8 – Aspecto Final da Trincheira, vista da rampa de acesso.**

**TRINCHEIRA 05**

<b>Coordenadas:</b>	<b>N-</b> 9135185	<b>E-</b> 491331
<b>Material:</b>	Xi+sto Proterozóico	
<b>Comprimento:</b>	57,0 m	
<b>Largura:</b>	13,5 m	
<b>Altura:</b>	6,5 m	
<b>Horas trabalhadas:</b>	Escavadeira: 29 h	
	D8: 12,5 h	
<b>Produção:</b>	Escavadeira: ~53,0 m <sup>3</sup> /h (ajudando o D8 na retirada do material)	
	D8: ~130,0 m <sup>3</sup> /h	
<b>Sentido da escavação:</b>	S60W	
<b>Descrição:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 0,00 a 0,50 m - colúvio argiloso com fragmentos de xisto e quartzo;</li> <li>- 0,50 a 2,00 m - solo saprolítico;</li> <li>- 2,00 a 6,50 m - saprolito de xisto;</li> <li>- 6,50 m - xisto cisalhado de cor azul. Medidas da atitude da foliação: N16E/36SE, N10E/48SE e N26E/38SE.</li> </ul>	

**Atitudes de falhas e fraturas:**

Fraturas:	N40W/58NE - decimétrica
	N74E/85SE - esparsa
	N23W/64NE - decimétrica
	N75E/65SE - métrica

**Observações Gerais:**

A trincheira foi escavada praticamente paralela à foliação. Desta forma tem-se duas situações distintas durante a escavação. A parede onde a foliação mergulha para dentro dela apresenta maior resistência e dificuldade de escavação, porém, nesta parede a rugosidade não é grande, sendo no geral inferior a 10,0 cm, chegando, eventualmente, a atingir 30,0 cm. Já na parede a foliação mergulha para dentro da trincheira não há problemas de escarificação, tendo em vista que o material desliza com muita facilidade até a rocha sã, porém nesta parede a rugosidade aumenta muito, estando em média entre 10,0 e 20,0 cm e chegando, em alguns pontos, a 40,0 cm. Além disso quando a foliação mergulha para dentro da trincheira o risco de desmoronamento é muito grande conforme se aprofunda a trincheira, pois a foliação é de médio ângulo e o material argiloso e muito foliado é de fácil deslocamento.

Na profundidade final da trincheira o avanço poderia ser feito com um fogacho e posterior escarificação - material de 3ª brando.

O material é de difícil compactação, sendo as placas que se soltam da escarificação da ordem de 0,45 a 1,00 m;

O desgaste do equipamento é muito pequeno.

Esta trincheira foi mantida aberta.

**Perfilagem Sísmica:**

Nesta área foram efetuadas duas bases, uma curta, com 39 metros de extensão e paralela à trincheira e uma base com 78 metros de extensão perpendicular à trincheira.

A base curta revelou uma camada superficial escavável de 2 metros de espessura, sobrepondo-se a material com velocidades entre 1300 e 1750 m/s e espessuras variando de 3 a 5 metros, em contato com rocha sã.

A base longa apresentou resultado bastante semelhante, porém sem definir a camada superficial escavável.

Mais uma vez a correlação entre velocidades sísmicas e método de escavação mostrou-se excelente nestas litologias xistos-filitos.

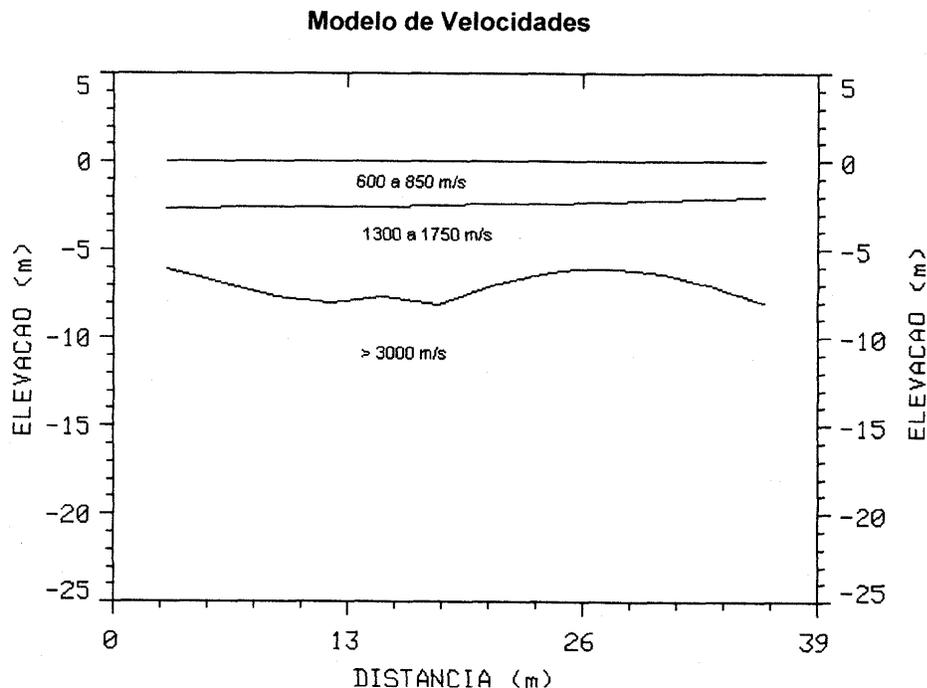
As velocidades, em princípio elevadas, para o xisto a profundidades de 6 a 7 metros, da ordem de 3000 m/s podem ser explicadas pelo fato do perfil ter sido feito aproximadamente paralelo à foliação, onde o menor fraturamento determina velocidades sísmicas maiores.

### Perfis Sísmicos:

- **SS-TR5-1:**

**Coordenadas: N-9.135.232  
E-0.491.340**

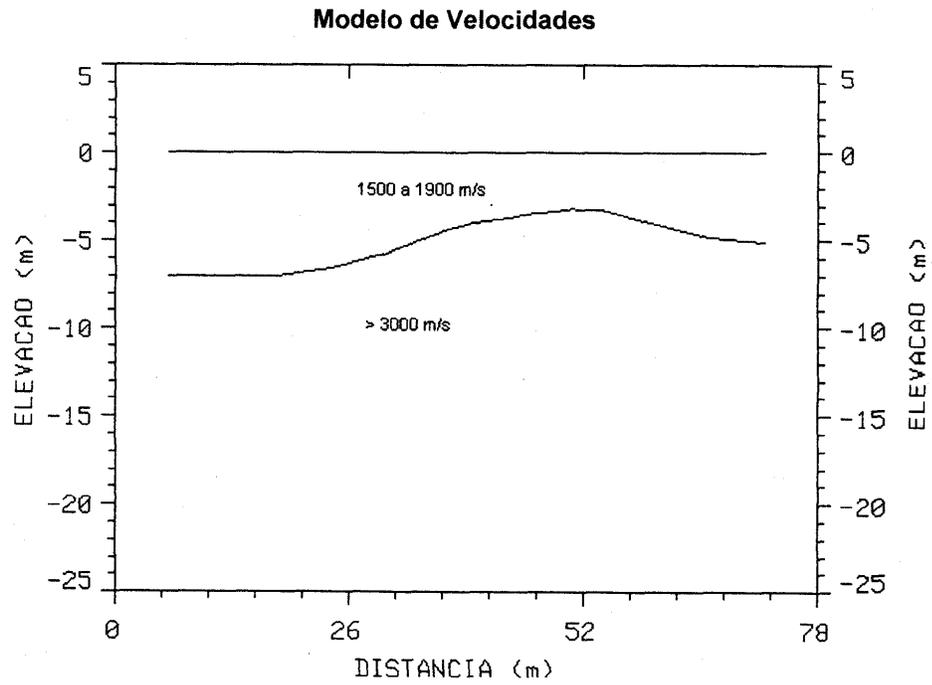
**Rumo: 55° (azimutal)  
Extensão: 39 metros**



- SS-TR5-2:

Coordenadas: N-9.135.178  
E-0.491.326

Rumo: 348° (azimutal)  
Extensão: 78 metros





**Foto 9 – Observar material lamelar resultante da escarificação.**



**Foto 10 – Detalhe escarificação paralela à foliação.**

**TRINCHEIRA 06**

<b>Coordenadas:</b>	<b>N-</b> 9144863	<b>E-</b> 490946
<b>Material:</b>	Arenito Mesozóico	
<b>Comprimento:</b>	54,0 m	
<b>Largura:</b>	13,5 m	
<b>Altura:</b>	10,0 m	
<b>Horas trabalhadas:</b>	Escavadeira: 24 h	
	D8: 5,5 h	
<b>Produção:</b>	Escavadeira: ~121,5 m <sup>3</sup> /h (ajudando o D8 na retirada do material)	
	D8: ~364,0 m <sup>3</sup> /h	
<b>Sentido da escavação:</b>	Norte	
<b>Descrição:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 0,00 a 0,50 m - colúvio areno-argiloso de cor ocre;</li> <li>- 0,50 a 4,00 m - arenito friável. Areia fina a muito fina, siltosa e parcialmente alterada;</li> <li>- 4,00 a 9,00 m - argilito maciço de cor marrom.</li> <li>- 9,00 a 10,00 m - Arenito, arcossiano, de granulometria fina a muito fina. Quando desagregado parece areia de praia. O material ainda é bastante friável, porém menos que o superior. No fundo da trincheira já começam a aparecer pontos de cimentação ferruginosa.</li> </ul>	

**Observações Gerais:**

Os litotipos são finamente laminados e estratificados.

O material é de fácil escavação e apresenta boa compactação, e a escavação no arenito praticamente não apresenta rugosidades, sendo estas sempre inferiores a 5,0 cm. Já no argilito observa-se uma rugosidade bem maior, a qual chega a 40,0 cm em "bicos" deixados pelo D8, devido ao comportamento rígido do argilito, que quebra de forma irregular. No geral a rugosidade no argilito varia de 10,0 a 15,0 cm, porém uma escavação mais cuidadosa poderia diminuir essa rugosidade;

No fundo da trincheira a impressão que se tem é que a escavação poderia prosseguir tranquilamente por mais 5,0 m, no mínimo;

A escavação neste material não causa desgaste nos equipamentos, e o avanço com a escavadeira é limitado pelo tamanho da lança, senão poderia avançar mais pelo menos 2,0 m.

**Perfilagem Sísmica:**

Nesta área foram efetuadas duas bases de 60 metros de extensão cada. A base 1 sendo paralela à trincheira e a base 2 perpendicular.

Na base 1 revelou-se um horizonte superficial escavável com cerca de 9 metros de espessura sobrepondo-se a material com velocidades entre 900 e 1200 m/s. Na base 2 ocorre o mesmo comportamento, porém com espessura ligeiramente menor da camada superficial.

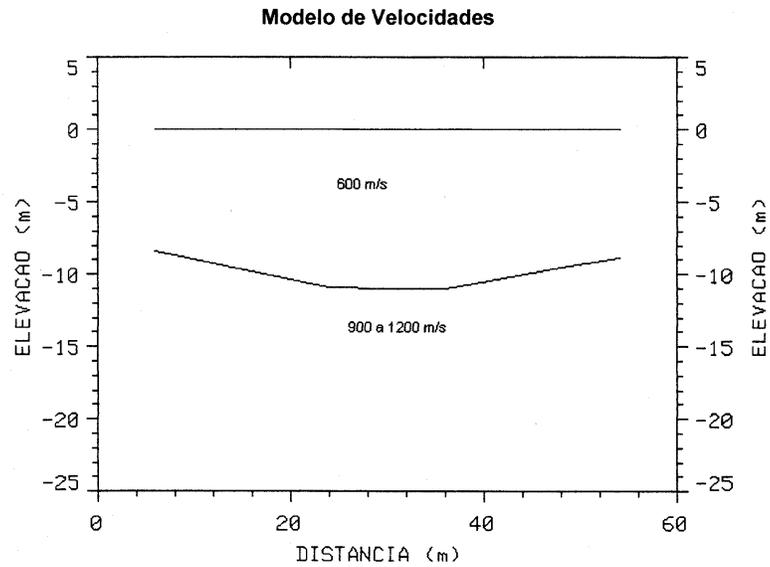
Interessante notar que o perfil sísmico não é sensibilizado pela variação de granulometria de sedimento, ao passar de arenito para argilito aos 4 metros de profundidade. No entanto, aos 9 metros, com o retorno do arenito algo mais compacto e menos friável, reflete uma variação de velocidade sísmica, ainda dentro de faixa claramente escarificável, atestada não apenas pelo valor da velocidade longitudinal como pela escavação.

## Perfis Sísmicos:

### - SS-TR6-1:

Coordenadas: N-9.144.813  
E-0.490.947

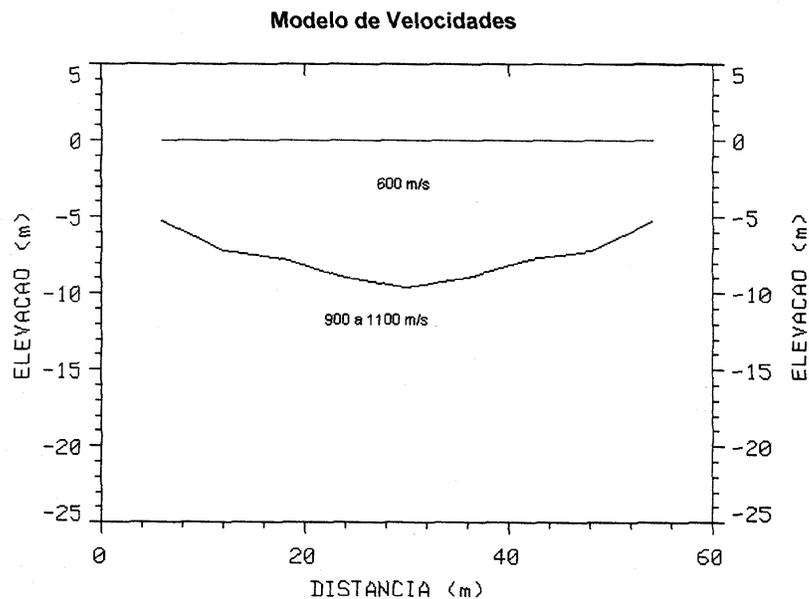
Rumo: 61° (azimutal)  
Extensão: 60 metros



### - SS-TR6-2:

Coordenadas: N-9.144.808  
E-0.490.938

Rumo: 349° (azimutal)  
Extensão: 60 metros





**Foto 11 – Execução da trincheira com D8 provido de um dente escarificador. Material de fácil escavação.**



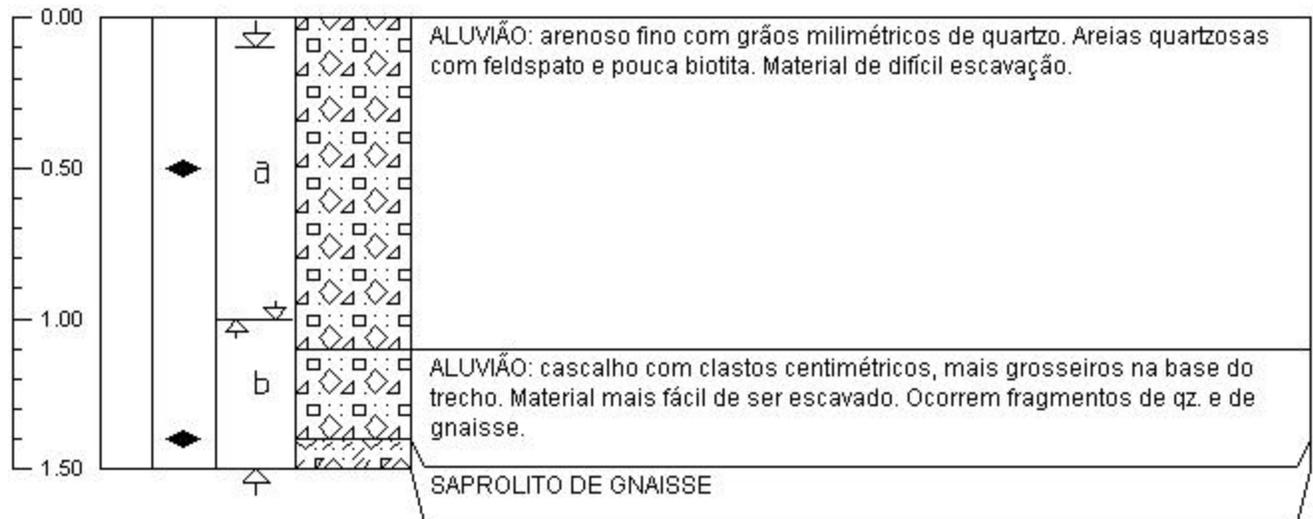
**Foto 12 Vista do horizonte de argilito intercalado por arenito. Observar a diferença de rugosidade.**

***Anexo II***

***Poços de Inspeção e Ensaios de Laboratório***

---

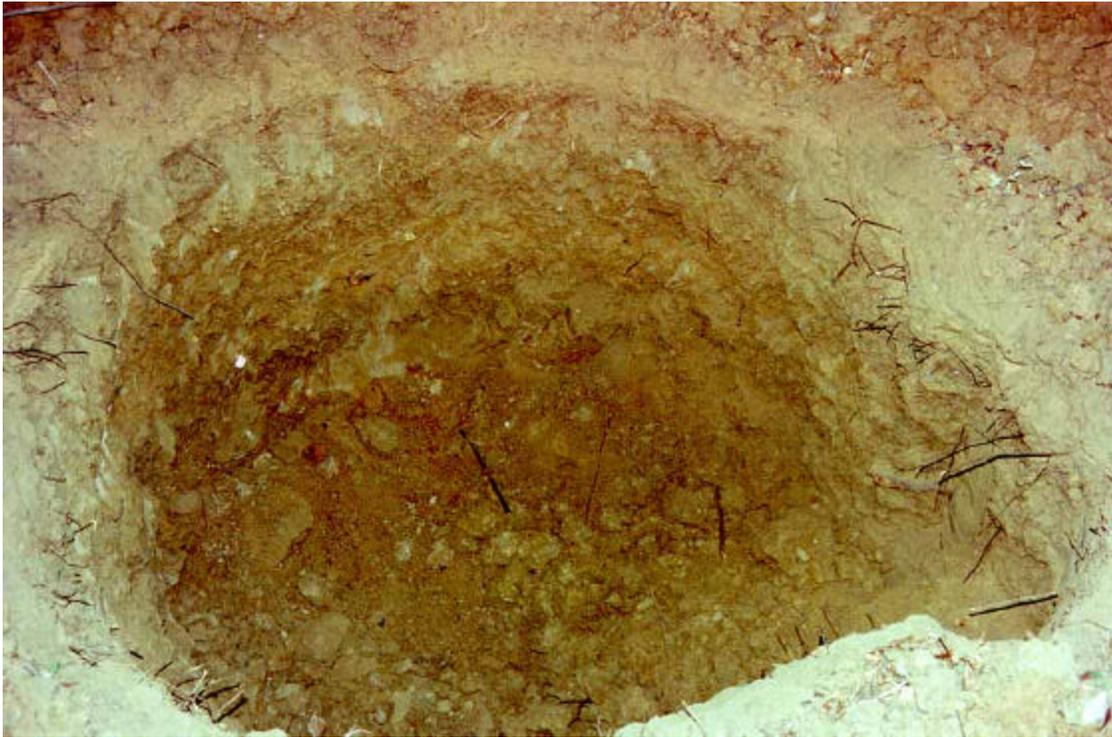
 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PT-01		<b>Localidade:</b> TUCUTU	
		<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.063.434 E = 449.166	<b>Data</b> Nov/2000
Prof. (m)	NA	Amostra Umidade Nat.	Amostra Deformada	Litologia	Descrição
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PT-01a	04	02	20	55	09	10	22	08
PT-01b	39	09	24	24	02	02	05	02

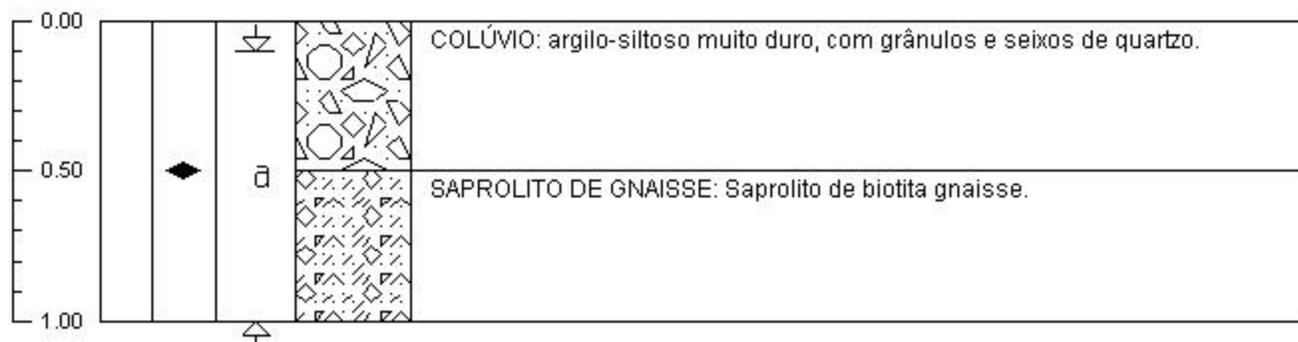
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PT-01a	11,40	1,910
PT-01b	11,25	1,855

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PT-01 - 0,5 m	3,68
PT-01 - 1,4 m	4,44



**PT-01 - Foto 1:** Vista geral do poço.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PT-02		<b>Localidade:</b> TUCUTU	
		<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.063.569 E = 449.086	<b>Data</b> Nov/2000
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PT-02a	08	03	16	36	15	22	44	09

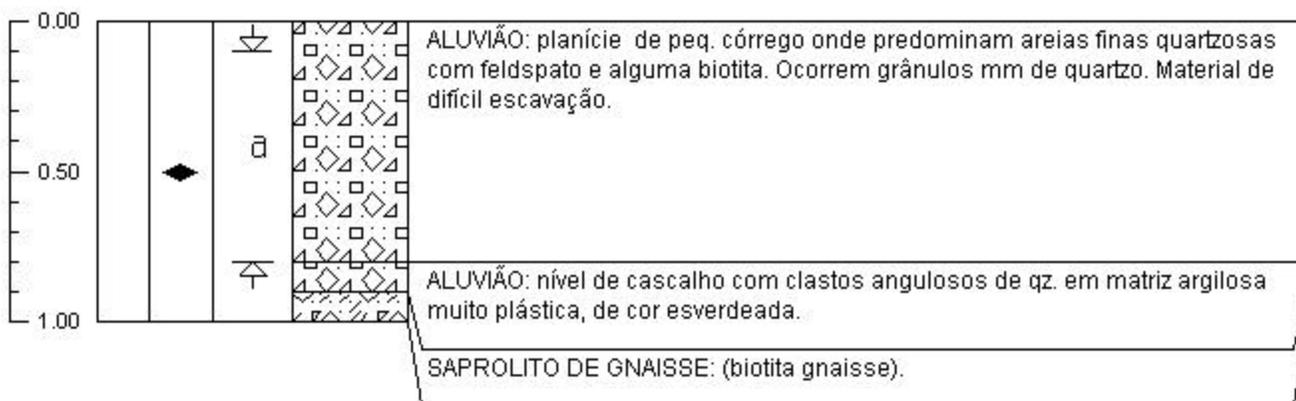
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PT-02a	13,60	1,860

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PT-02 - 0,5 m	11,18



**PT-02 - Foto 1:** Vista geral do poço.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PT-03		<b>Localidade:</b> TUCUTU	
<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.063.507 E = 449.051		<b>Data</b> Nov/2000	
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PT-03a	00	02	04	48	22	24	55	20

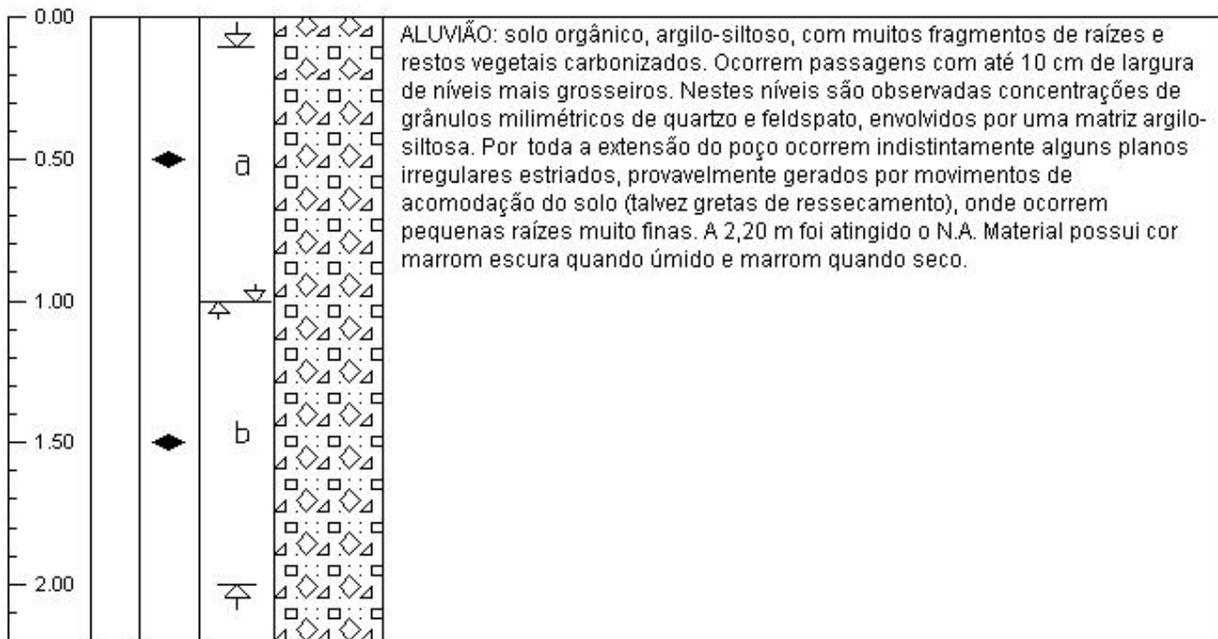
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PT-03a	13,43	1,828

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PT-03 - 0,5 m	7,49



**PT-03 - Foto 1:** Vista geral do poço.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PTN-01		<b>Localidade:</b> TERRA NOVA	
<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.086.071 E = 460.549		<b>Data</b> Nov/2000	
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural

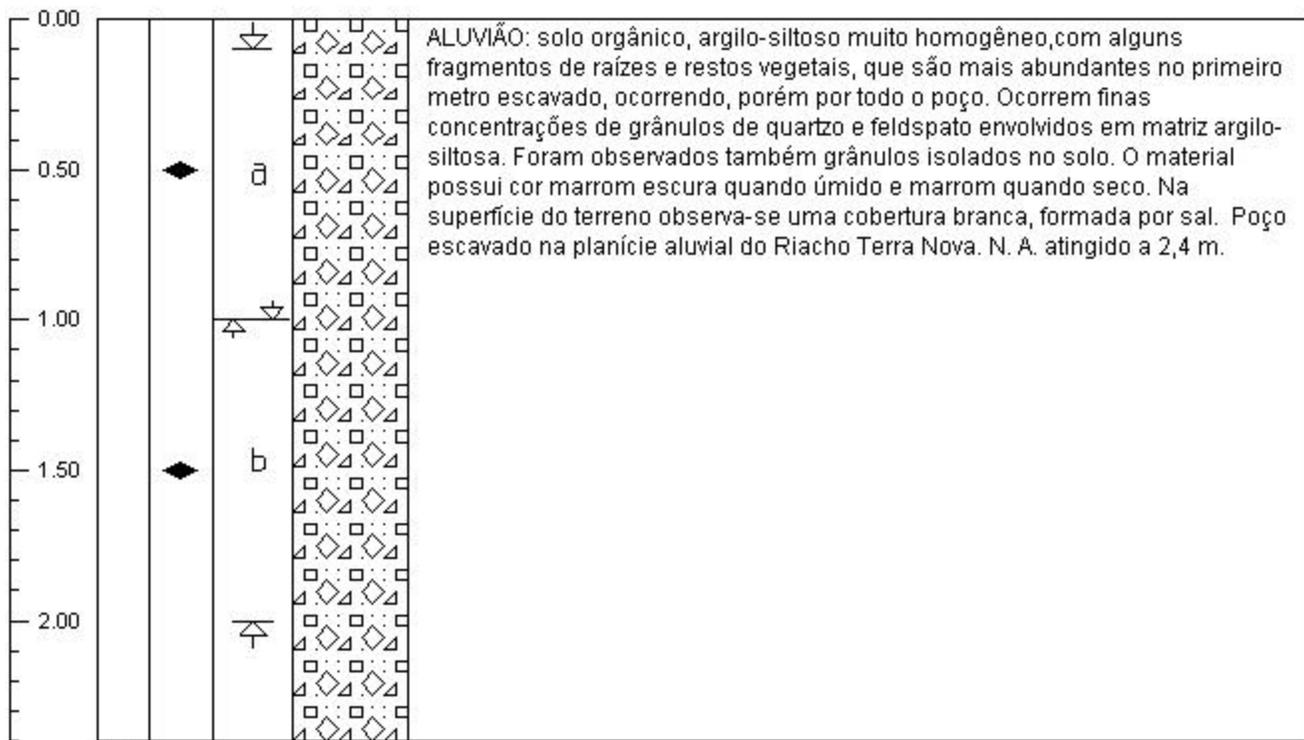


AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PTN-01a	00	01	02	26	29	42	78	33
PTN-01b	00	00	02	38	33	27	70	17

AMOSTRA	ENSAIO		
	COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/s)
PTN-01a	20,60	1,680	1,16 x 10 <sup>-6</sup>
PTN-01b	15,60	1,850	-

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PTN-01 - 0,5 m	18,59
PTN-01 - 1,5 m	28,08

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço nº:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PTN-02		<b>Localidade:</b> TERRA NOVA	
		<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.085.219 E = 460.555	<b>Data</b> Nov/2000
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PTN-02a	00	00	00	38	40	22	76	12
PTN-02b	00	00	02	43	31	24	67	15

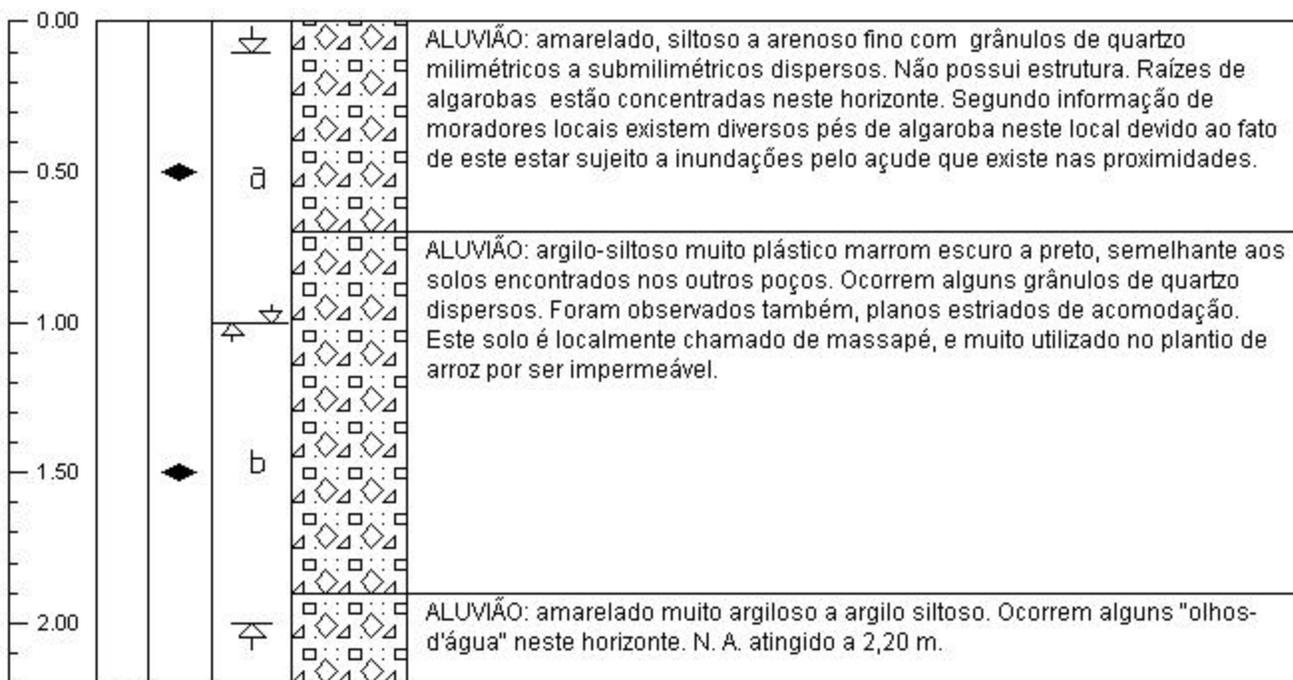
AMOSTRA	ENSAIO		
	COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/s)
PTN-02a	14,38	1,898	$2,8 \times 10^{-6}$
PTN-02b	14,60	1,880	-

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE
PTN-02a – 0,5 m	19,35
PTN-02b – 1,5 m	21,25



**PTN-02 - Foto 1:** Local onde foi escavado o poço. Notar sal na superfície do terreno.

 <b>ENGEORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO Localidade: TERRA NOVA	
PTN-03	<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		Coordenadas: <b>N</b> = 9.086.710 <b>E</b> = 460.420 Data: Nov/2000
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b> <b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b> <b>Descrição</b>
			 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PTN-03a	00	00	01	14	38	47	93	24
PTN-03b	00	00	03	16	27	54	88	38

AMOSTRA	ENSAIO		
	COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/s)
PTN-03a	23,02	1,641	-
PTN-03b	21,45	1,626	5,39 x 10 <sup>-8</sup>

PTN-03 - 0,5 m	18,41
PTN-03 - 1,5 m	23,42

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)



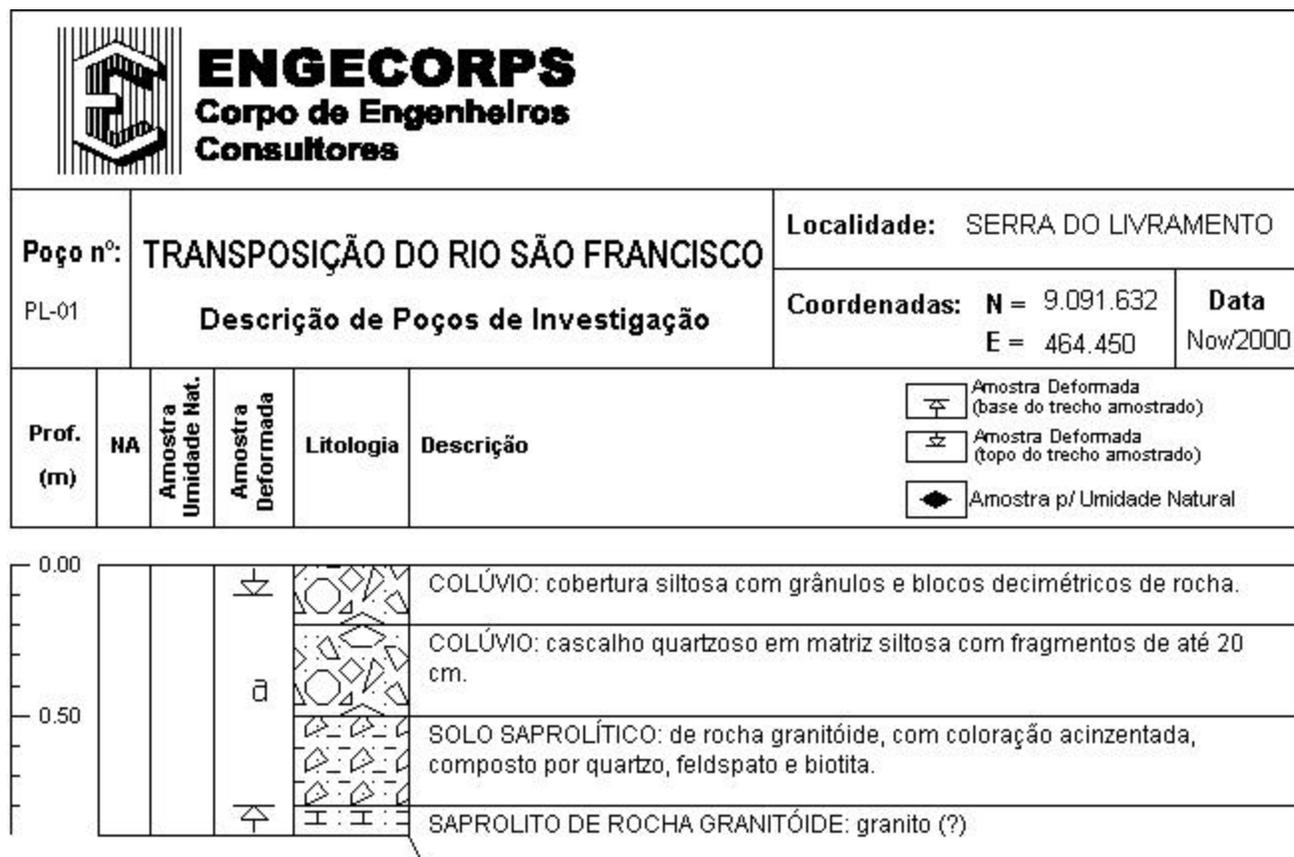
**PTN-03 - Foto 1:** Vista geral do poço.



<b>ENSAIO DE ADENSAMENTO VERTICAL</b>		
<b>Local</b>	Trincheira TR-3	
<b>Característica da Amostra</b>	Compactada	
<b>Característica do Anel de Adensamento</b>	Tipo Fixo - com dimensões de: Diâmetro: 8,74 cm Altura: 2,0 cm Área: 60 cm <sup>2</sup>	
<b>Amostra</b>	PTR3-01a	
<b>Condição de Ensaio</b>	Inundado	
<b>Pressão de Inundação (kPa)</b>	320	
<b>Ocorrência do Fenômeno Devido à Inundação</b>	<b>COLAPSO (%)</b>	<b>EXPANSÃO (%)</b>
	0,88	-
<b>Umidade Inicial de Moldagem (%)</b>	10,53	
<b>Grau de Saturação Inicial de Moldagem (%)</b>	79,93	
<b>Massa Específica Aparente Úmida Inicial de Moldagem (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,165	
<b>Índice de Vazios Inicial</b>	0,348	
<b>Índice de Compressão (Cc)</b>	0,130	
<b>Índice de Expansão (Cs)</b>	0,020	
<b>Índice de Vazios Final</b>	0,236	
<b>Umidade Final do Ensaio (%)</b>	12,71	



**PTR3-01 - Foto 1:** Vista do local de amostragem.



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PL-01a	15	19	16	34	10	06	23	04

AMOSTRA	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PL-01a	8,46	2,044



**PL-01 - Foto 1:** Vista geral do poço.



**ENGECORPS**  
Corpo de Engenheiros  
Consultores

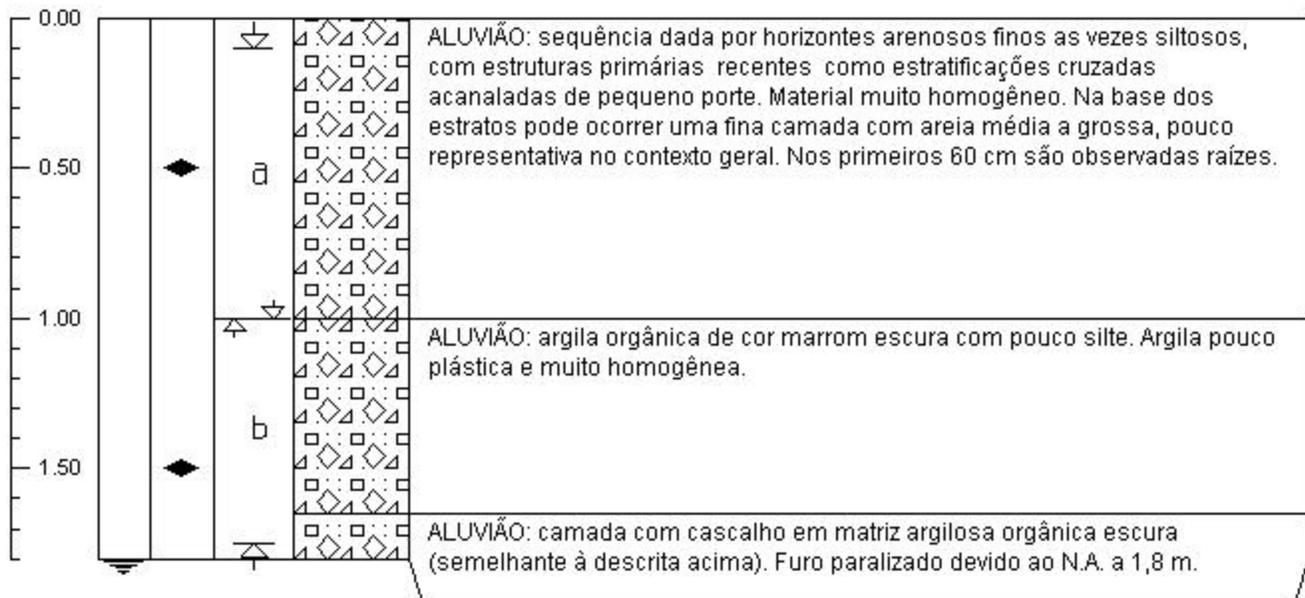
Poço nº: PM-01	TRANSDIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO	Localidade: MANGUEIRA	
		Coordenadas: N = 9.098.854 E = 475.464	Data Nov/2000

Prof. (m)	NA	Amostra Umidade Nat.	Amostra Deformada	Litologia	Descrição
-----------	----	----------------------	-------------------	-----------	-----------

Amostra Deformada (base do trecho amostrado)

Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)

Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PM-01a	00	03	19	48	22	08	36	06
PM-01b	00	01	02	37	42	18	67	10

AMOSTRA	ENSAIO		
	COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/s)
PM-01a	13,70	1,855	-
PM-01b	15,40	1,850	4,56 x 10 <sup>-7</sup>

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PM-01- 0,5 m	16,13
PM-01- 1,5 m	23,07

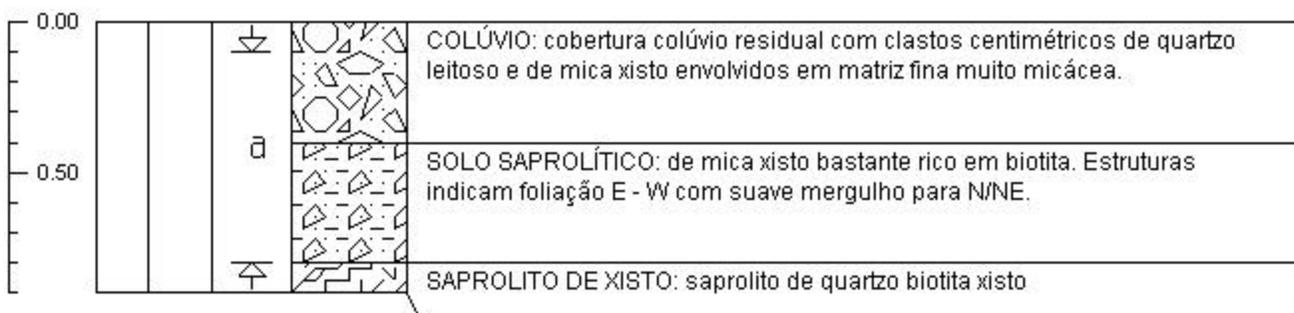


**PM-01 - Foto 1:** Horizonte areno-siltoso fino muito homogêneo.



**PM-01 - Foto 2:** Estruturas preservadas, como estratificações cruzadas nos horizontes mais finos.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço nº:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PM-02		<b>Localidade:</b> MANGUEIRA	
<b>Prof. (m)</b>		<b>NA</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.098.923 E = 475.156	
<b>Amostra Umidade Nat.</b>		<b>Amostra Deformada</b>		<b>Data</b> Nov/2000	
<b>Litologia</b>		<b>Descrição</b>		 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural	

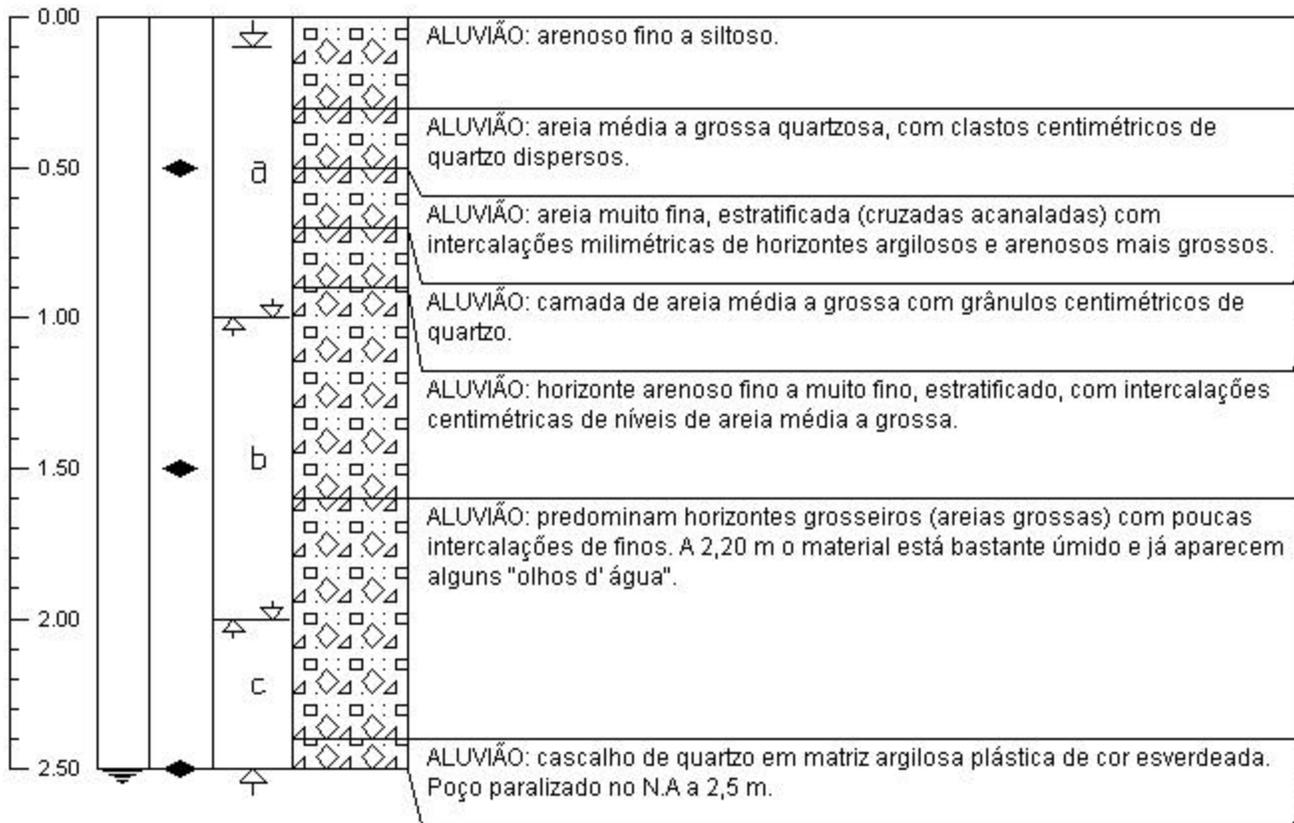


AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PM-02a	13	02	05	28	27	25	59	16

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PM-02a	14,30	1,815

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PM-02 - 0,50 M	11,88

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n.º:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PM-03		<b>Localidade:</b> MANGUEIRA	
<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.099.120 E = 475.311		<b>Data</b> Nov/2000	
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PM-03a	02	03	15	70	06	04	15	03
PM-03b	01	01	24	60	08	06	18	04
PM-03c	16	17	33	28	04	02	09	02

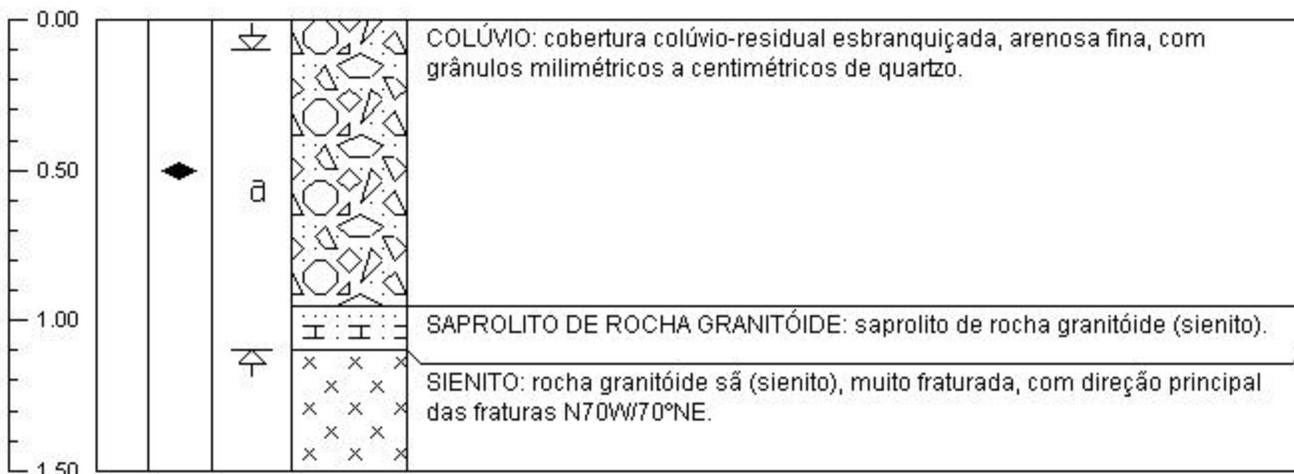
AMOSTRA	ENSAIO		
	COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/s)
PM-03a	12,60	1,630	$2,65 \times 10^{-4}$
PM-03b	12,40	1,780	-
PM-03c	11,01	1,979	-

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PM-03 - 0,5 m	1,24
PM-03 - 1,5 m	2,60
PM-03 - 2,5 m	9,16



PM-03 - Foto 1: Vista geral do poço.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PN-01		<b>Localidade:</b> NEGREIROS	
<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.105.179 E = 480.774		<b>Data</b> Nov/2000	
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PN-01a	07	17	13	43	10	10	31	08

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PN-01a	8,80	1,970

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PN-01 - 0,5 m	4,09



**PN-01 - Foto 1:** A canaleta representa o trecho amostrado. Os últimos 40 cm foram em rocha muito fraturada.

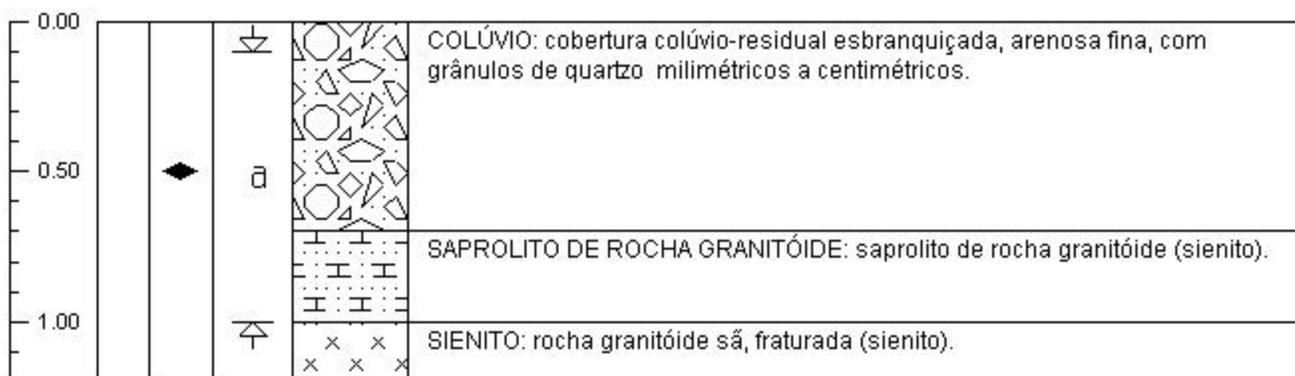


**PN-01 - Foto 2:** Detale da rocha fraturada.



**PN-01 - Foto 3:** Detalhe do saprolito, com percolação de óxidos de ferro.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PN-02		<b>Localidade:</b> NEGREIROS	
<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.105.215 E = 480.499		<b>Data</b> Nov/2000	
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PN-02a	13	13	16	42	10	06	24	03

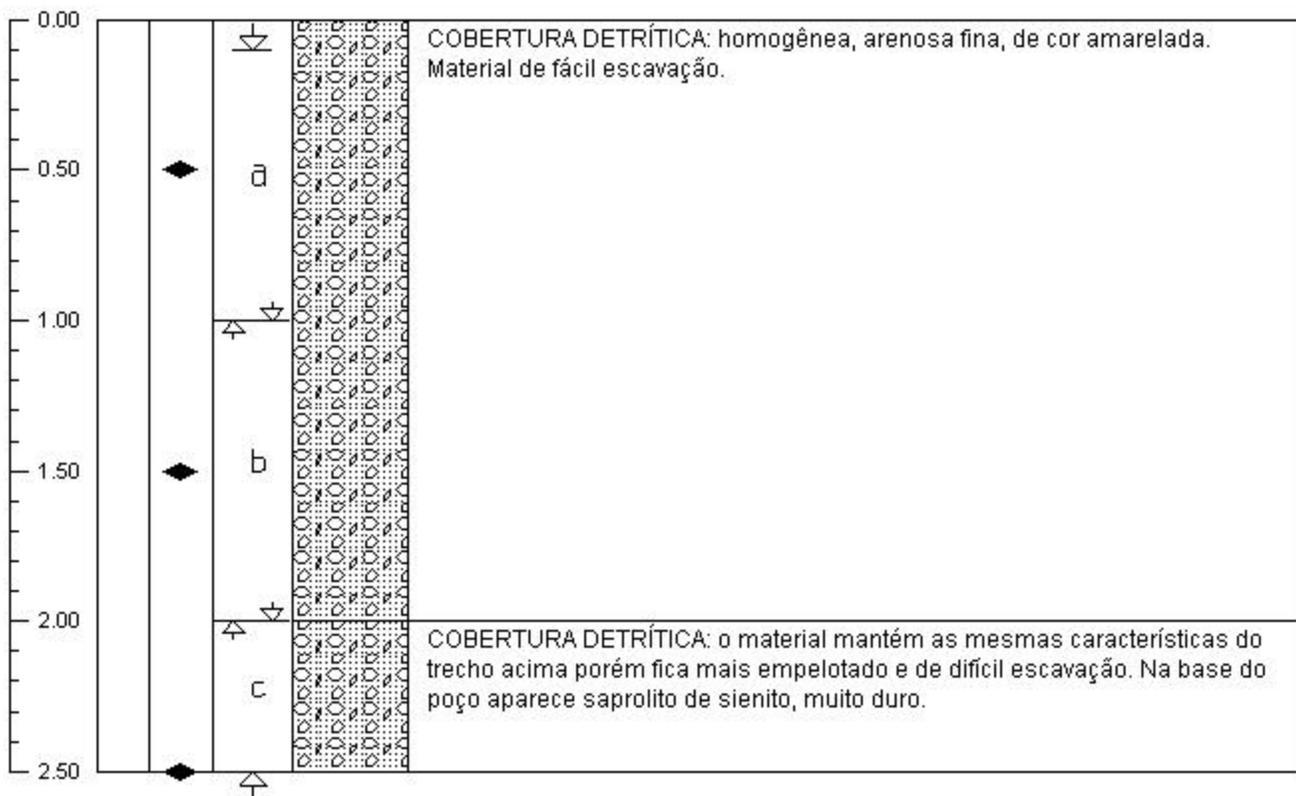
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PN-02a	8,00	1,950

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PN-02 - 0,5 m	2,32



**PN-02 - Foto 1:** Visão geral do poço.

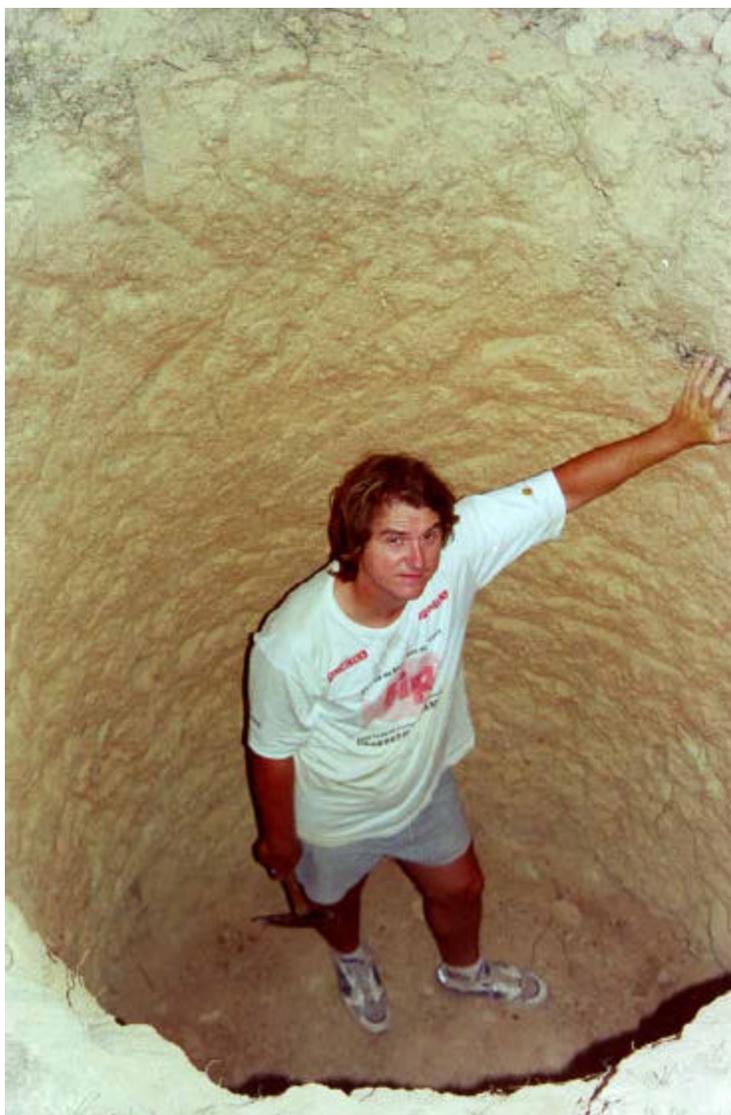
 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PN-03		<b>Localidade:</b> NEGREIROS		
		<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.106.753 E = 481.162	<b>Data</b> Nov/2000	
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>	 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)
						 Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)
						 Amostra p/ Umidade Natural



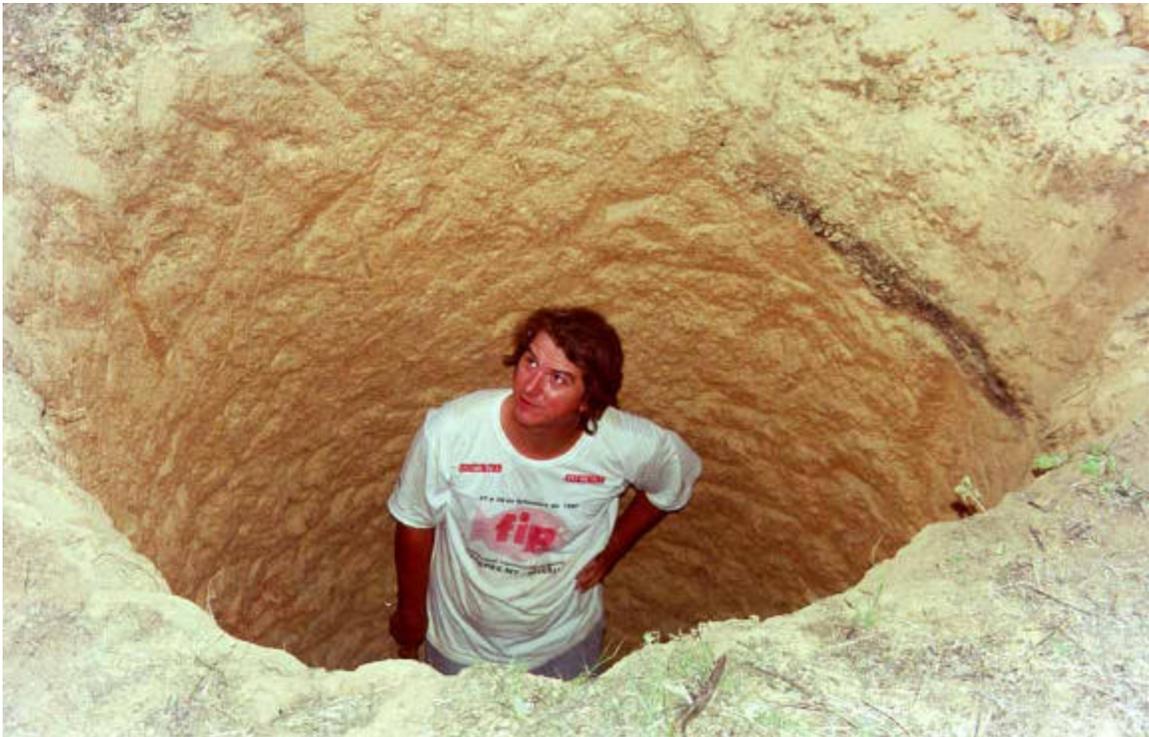
AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PN-03a	01	07	21	45	10	16	38	12
PN-03b	01	09	22	40	16	12	36	10
PN-03c	02	08	22	46	14	08	38	06

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PN-03a	10,15	2,013
PN-03b	9,60	2,030
PN-03c	9,74	1,974

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PN-03 - 0,5 m	3,77
PN-03 - 1,5 m	5,52
PN-03 - 2,5 m	5,00

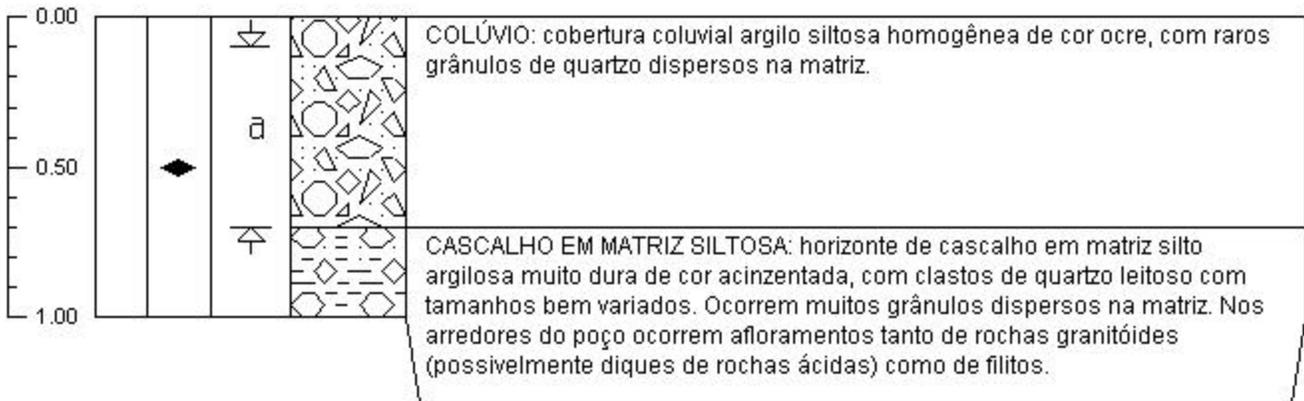


PN-03 - Foto 1: Vista geral do poço.



**PN-03 - Foto 2:** Vista geral do poço.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores						
Poço n°: PMI-01	<b>TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO</b>  Descrição de Poços de Investigação	Localidade: MILAGRES  Coordenadas: N = 9.123.248 E = 491.009	Data Nov/2000			
Prof. (m)	NA	Amostra Umidade Nat.	Amostra Deformada	Litologia	Descrição	 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PMI-01a	06	03	13	41	21	16	44	08

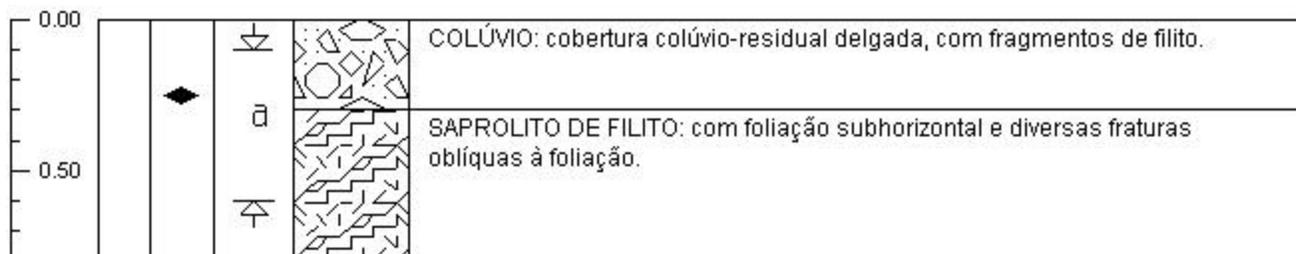
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PMI-01a	11,40	1,981

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PMI-01 - 0,5 M	8,53



**PMI-01 - Foto 1:** Visão geral do poço.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO Localidade: MILAGRES				
PMI-02	<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		Coordenadas: N = 9.124.136 E = 491.222	Data Nov/2000		
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>	 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PMI-02a	64	06	05	07	11	07	21	06

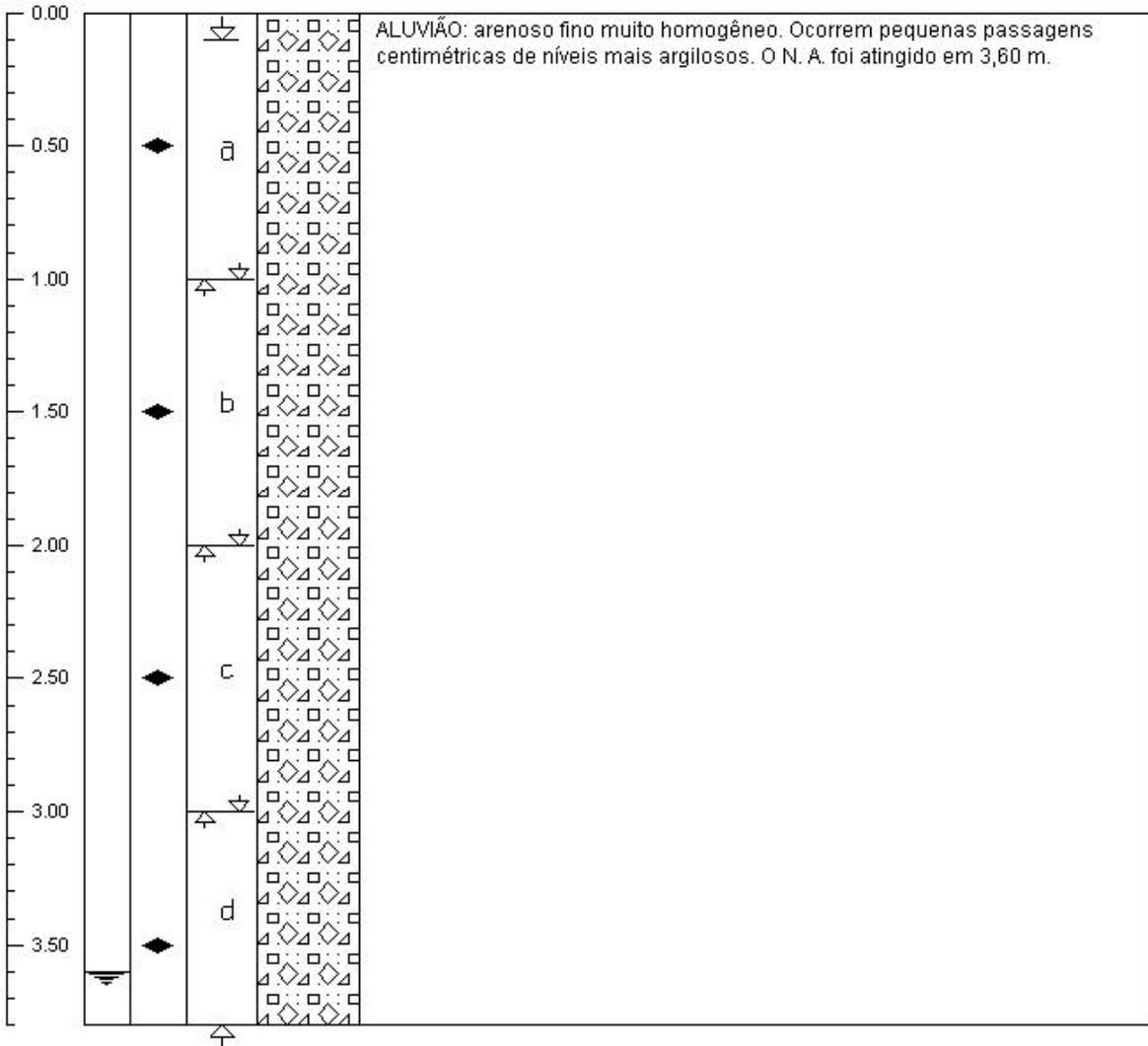
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PMI-02a	12,96	1,830

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PMI-02 - 0,25 M	3,44



**PMI-02 - Foto 1:** Visão geral do poço.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		Localidade: MILAGRES			
		Poço nº: TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PMI-03	Descrição de Poços de Investigação	Coordenadas: N = 9.124.195 E = 491.129	Data Nov/2000
Prof. (m)	NA	Amostra Umidade Nat.	Amostra Deformada	Litologia	Descrição
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PMI-03a	05	01	09	29	34	22	63	16
PMI-03b	01	02	10	31	27	29	64	22
PMI-03c	04	02	10	40	30	14	56	08
PMI-03d	01	02	05	46	26	20	55	13

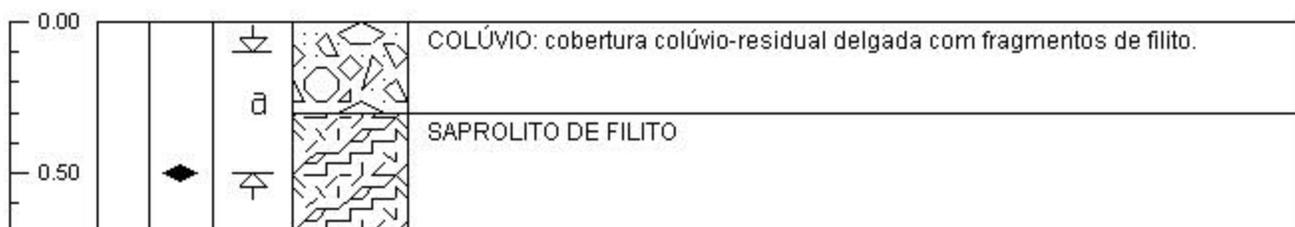
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
PMI-03a	12,10	1,955
PMI-03b	12,20	1,975
PMI-03c	14,48	1,871
PMI-03d	11,44	1,924

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PMI-03 - 0,5 m	5,67
PMI-03 - 1,5 m	10,90
PMI-03 - 2,5 m	15,73
PMI-03 - 3,5 m	16,16



PMI-03 - Foto 1: Vista geral do poço.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO Localidade: MILAGRES				
PMI-04	<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		Coordenadas: <b>N</b> = 9.124.225 <b>E</b> = 491.143 Data: Nov/2000			
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>	 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



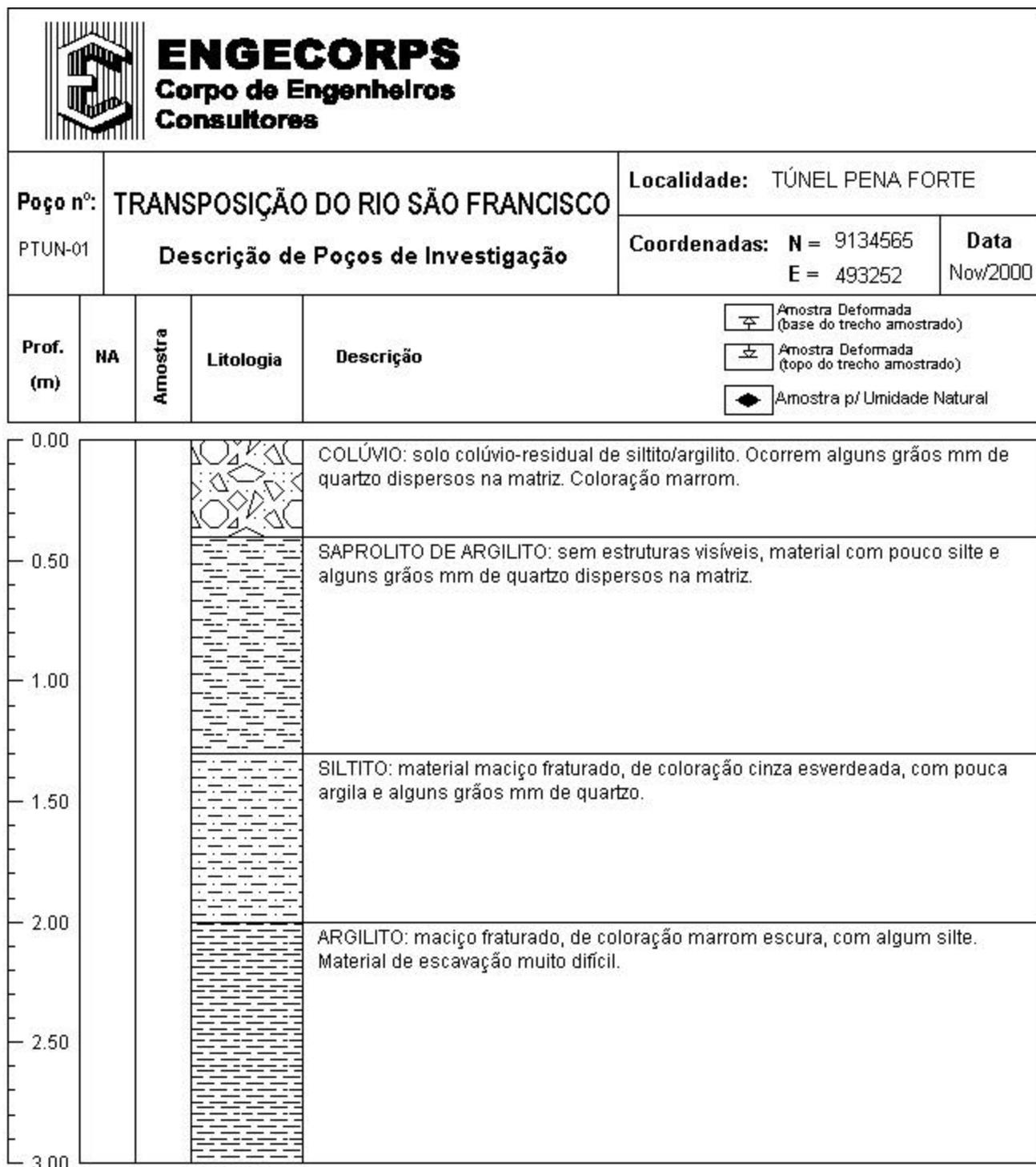
AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PMI-04a	50	13	07	09	11	10	26	08

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )

PMI-04a	12,80	1,897
UMIDADE NATURAL DO SOLO		
AMOSTRA	UMIDADE (%)	
PMI-04 - 0,50 M	5,24	



**PMI-04 - Foto 1:** Visão geral do poço.

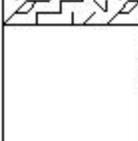




**PTUN-01 - Foto 1:** Vista do local de escavação do poço. Notar afloramentos de arenito paleozóico ao fundo.



**PTUN-01 - Foto 2:** Vista geral do poço. Atentar para mudança de coloração da camada de silte (cinza) com relação à argila (marrom).

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço nº:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PJ-01		<b>Localidade:</b> JATI	
		<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.148.439 E = 499.665	<b>Data</b> Nov/2000
Prof. (m)	NA	Amostra	Litologia	Descrição	 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural
0.00				COBERTURA DETRÍTICA: cobertura detrítica delgada, com muito cascalho em matriz silto argilosa.	
0.50				SAPROLITO DE XISTO: saprolito de rocha xistosa com veios de quartzo. A rocha preserva estrutura com foliação N60E/55°SE e planos internos dados por micas muito finas (sericita xisto?). Rocha levemente esverdeada.  Obs.: Não foi coletada amostra devido à espessura insignificante.	
1.00					

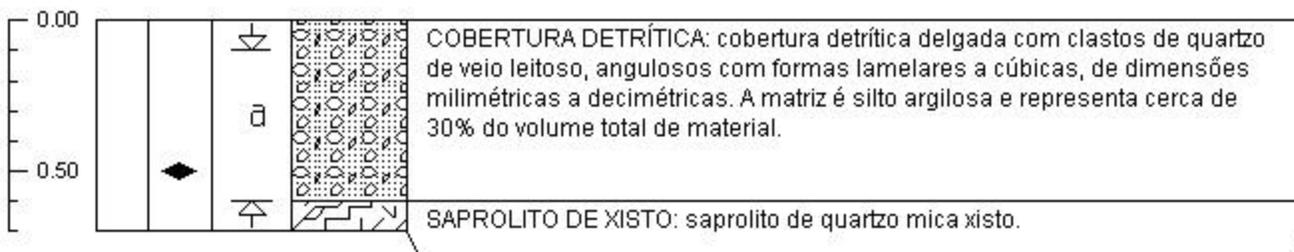


PJ-01 - Foto 1: Vista geral do poço.



PJ-01 - Foto 2: Detalhe da foliação da rocha (N60E/55°SE)

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PJ-02		<b>Localidade:</b> JATI	
<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.148.898 E = 499.545		<b>Data:</b> Nov/2000	
<b>Prof. (m)</b>	<b>NA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PJ-02a	52	14	10	13	07	04	16	03

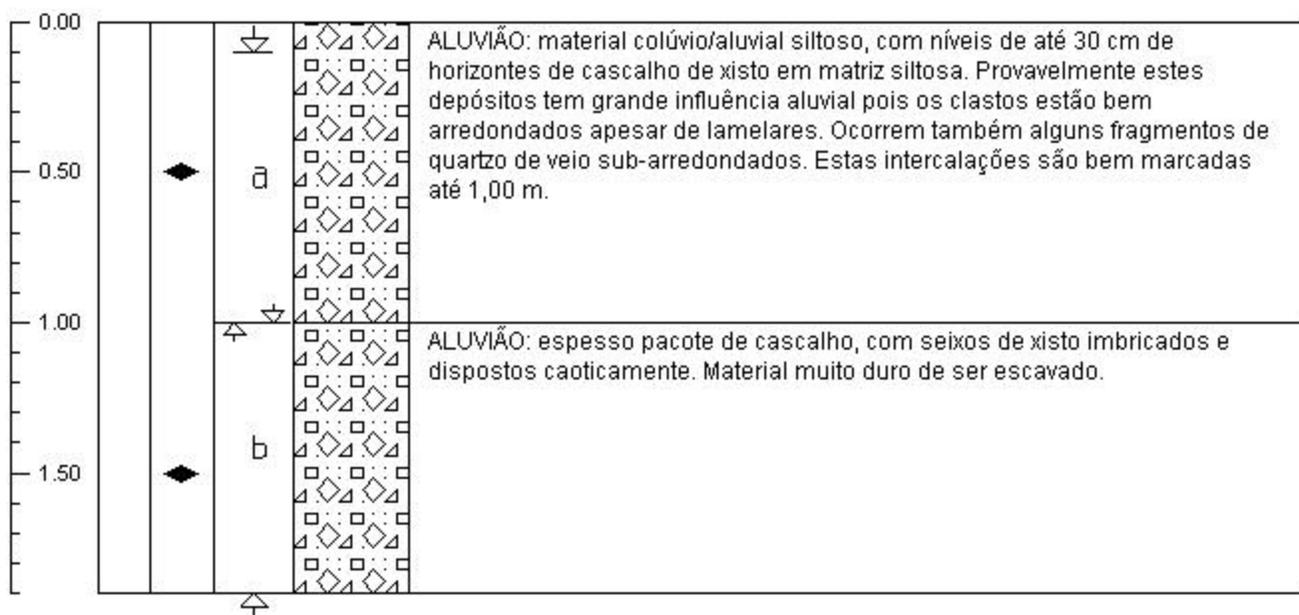
AMOSTRA	ENSAIO		
	COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/s)
PJ-02a	9,52	2,099	3,21 x 10 <sup>-3</sup>

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PJ-02 - 0,5 m	4,88



PJ-02 - Foto 1: Vista geral do poço.

 <b>ENGECORPS</b> Corpo de Engenheiros Consultores		<b>Poço n°:</b> TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PJ-03		<b>Localidade:</b> JATI	
		<b>Descrição de Poços de Investigação</b>		<b>Coordenadas:</b> N = 9.148.403 E = 499.665	
<b>Prof. (m)</b>	<b>HA</b>	<b>Amostra Umidade Nat.</b>	<b>Amostra Deformada</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição</b>
					 Amostra Deformada (base do trecho amostrado)  Amostra Deformada (topo do trecho amostrado)  Amostra p/ Umidade Natural



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PJ-03a	04	04	18	33	22	19	49	12
PJ-03b	44	11	19	11	07	08	17	06

AMOSTRA	ENSAIO		
	COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/s)
PJ-03a	13,37	1,922	1,16 x 10 <sup>-6</sup>
PJ-03b	11,80	1,979	-

UMIDADE NATURAL DO SOLO	
AMOSTRA	UMIDADE (%)
PJ-03 - 0,5 m	5,31
PJ-03 - 1,5 m	7,61

<b>ENSAIO DE ADENSAMENTO VERTICAL</b>		
<b>Local</b>	Jati	
<b>Característica da Amostra</b>	Compactada	
<b>Característica do Anel de Adensamento</b>	Tipo Fixo - com dimensões de: Diâmetro: 8,74 cm Altura: 2,0 cm Área: 60 cm <sup>2</sup>	
<b>Amostra</b>	PJ-03b	
<b>Condição de Ensaio</b>	Inundado	
<b>Pressão de Inundação (kPa)</b>	320	
<b>Ocorrência do Fenômeno Devido à Inundação</b>	<b>COLAPSO (%)</b>	<b>EXPANSÃO (%)</b>
	0,65	-
<b>Umidade Inicial de Moldagem (%)</b>	11,19	
<b>Grau de Saturação Inicial de Moldagem (%)</b>	80,82	
<b>Massa Específica Aparente Úmida Inicial de Moldagem (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,150	
<b>Índice de Vazios Inicial</b>	0,366	
<b>Índice de Compressão (Cc)</b>	0,150	
<b>Índice de Expansão (Cs)</b>	0,030	
<b>Índice de Vazios Final</b>	0,216	
<b>Umidade Final do Ensaio (%)</b>	12,35	



**PJ-03 - Foto 1:** Vista da parede do poço. Aluvião, no contato entre horizonte fino no topo e conglomerático na base.

**PJ-03 - Foto 2:** Detalhe do horizonte conglomerático com clastos lamelares de xisto e alguns fragmentos de quartzo de veio.





AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PTR5-01a	48	10	17	10	10	06	18	04

AMOSTRA	ENSAIO		
	COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/s)
PTR5-01a	10,09	2,098	7,45 x 10 <sup>-6</sup>

ENSAIO DE ADENSAMENTO VERTICAL		
Local	Trincheira TR-5	
Característica da Amostra	Compactada	
Característica do Anel de Adensamento	Tipo Fixo - com dimensões de: Diâmetro: 8,74 cm Altura: 2,0 cm Área: 60 cm <sup>2</sup>	
Amostra	PTR5-01a	
Condição de Ensaio	Inundado	
Pressão de Inundação (kPa)	160	
Ocorrência do Fenômeno Devido à Inundação	<b>COLAPSO (%)</b>	<b>EXPANSÃO (%)</b>
	0,42	-
Umidade Inicial de Moldagem (%)	10,08	
Grau de Saturação Inicial de Moldagem (%)	84,66	
Massa Específica Aparente Úmida Inicial de Moldagem (g/cm <sup>3</sup> )	2,211	
Índice de Vazios Inicial	0,314	
Índice de Compressão (Cc)	0,120	
Índice de Expansão (Cs)	0,030	
Índice de Vazios Final	0,205	
Umidade Final do Ensaio (%)	12,35	



**PTR5-01 - Foto 1:** Local da trincheira.



**PTR5-01 - Foto 2:** Elevação de barragem com material retirado da trincheira 5.



**PTR5-01 - Foto 3:** Local amostrado, no eixo da barragem, na trincheira 5.



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PBFA-01a	48	10	15	14	08	05	17	04

AMOSTRA	ENSAIO		
	COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/s)
PBFA-01a	11,00	2,060	4,78 x 10 <sup>-6</sup>

<b>ENSAIO DE ADENSAMENTO VERTICAL</b>		
<b>Local</b>	Bota Fora Atalho	
<b>Característica da Amostra</b>	Compactada	
<b>Característica do Anel de Adensamento</b>	Tipo Fixo - com dimensões de: Diâmetro: 8,74 cm Altura: 2,0 cm Área: 60 cm <sup>2</sup>	
<b>Amostra</b>	PBFA-01a	
<b>Condição de Ensaio</b>	Inundado	
<b>Pressão de Inundação (kPa)</b>	160	
<b>Ocorrência do Fenômeno Devido à Inundação</b>	<b>COLAPSO (%)</b>	<b>EXPANSÃO (%)</b>
	1,01	-
<b>Umidade Inicial de Moldagem (%)</b>	10,96	
<b>Grau de Saturação Inicial de Moldagem (%)</b>	66,59	
<b>Massa Específica Aparente Úmida Inicial de Moldagem (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,042	
<b>Índice de Vazios Inicial</b>	0,435	
<b>Índice de Compressão (Cc)</b>	0,150	
<b>Índice de Expansão (Cs)</b>	0,020	
<b>Índice de Vazios Final</b>	0,250	
<b>Umidade Final do Ensaio (%)</b>	12,25	



**PBFA-01 - Foto 1:** Local amostrado.



**PBFA-01 - Foto 2:** Detalhe do poço. Blocos decimétricos de filitos e granitóides.



AMOSTRA	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						% passando na # 200	% passando em 2m
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila		
PBFA-02a	39	09	20	16	10	06	18	04

AMOSTRA	ENSAIO		
	COMPACTAÇÃO		PERMEABILIDADE
	Umidade Ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/s)
PBFA-02a	10,78	2,091	1,32 x 10 <sup>-5</sup>



**PBFA-02 Foto 1:** Vista do poço.



**PBFA-01 - Foto 2:** Vista do poço.



**Bota Fora de Atalhos - Foto 1:** Vista geral do local.



**Bota-Fora de Atalho - Foto 2:** Material depositado no bota-fora, oriundo da escavação do vertedouro Atalho (local de implantação da Barragem Logradouro).



**Bota-Fora de Atalho - Foto 3:** Material do bota-fora.