

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DE ESCAVABILIDADE E ESTIMATIVA  
DE VOLUME DOS MATERIAIS PRESENTES NAS  
ALTERNATIVAS DE CANAIS DE ADUÇÃO PARA A  
TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO  
SÃO FRANCISCO**

Tays Ribeiro

Orientador: Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha  
Co-orientador: Dr. Geól. M. Sc. Fernão Paes de Barros

Monografia de Trabalho de Formatura

SÃO PAULO  
1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DE ESCAVABILIDADE E ESTIMATIVA  
DE VOLUME DOS MATERIAIS PRESENTES NAS  
ALTERNATIVAS DE CANAIS DE ADUÇÃO PARA A  
TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO  
SÃO FRANCISCO**

Tays Ribeiro



Orientador: Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha  
Co-orientador: Dr. Geól. M. Sc. Fernão Paes de Barros

Monografia de Trabalho de Formatura

DEDALUS - Acervo - IGC



30900004575

SÃO PAULO  
1999

TF  
R484  
T. A

СОЮЗ ОФИЦИАЛЬНЫХ  
ДИПЛОМАТОВ ВСЕИ МИРСКАЯ

АУТАНДЫРЫ 30 2003-ЖЫЛДЫЗЫ  
САН 2003-ЖЫЛДЫЗЫ 2003-ЖЫЛДЫЗЫ  
АНАР РАДЫРДЫ 30 2003-ЖЫЛДЫЗЫ  
СЕ 2003-ЖЫЛДЫЗЫ 2003-ЖЫЛДЫЗЫ



Түрк Республикасы

Орталық Қызыл Академияның  
басынан шығарылған мемлекеттік

жарнамасынан шығарылған мемлекеттік

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**Instituto de Geociências**

Disciplina Interdepartamental 044-500 - Trabalho de Formatura - Ano letivo de 1999  
Projeto nº TF-99/17

**Título:** Avaliação de Escavabilidade e Estimativa de Volume dos Materiais Presentes nas Alternativas de Canais de Adução Para a Transposição de Águas do Rio São Francisco

**Aluna:** Tays Ribeiro

**Orientador:** Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

**Co-orientador:** Geól. M. Sc. Fernão Paes de Barros

*À minha filha Yara,  
Por todos os dias e noites que fiquei longe.*

## Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus orientadores, Prof. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha e Geol. Fernão Paes de Barros, pelos conselhos, apoio e infinita paciência que demonstraram para comigo. Também gostaria de agradecer à ENGECORPS, que patrocinou minha viagem e estadia no campo e permitiu a utilização de dados referentes ao projeto de Transposição do Rio São Francisco, sem os quais seria impossível a elaboração deste trabalho.

Gostaria, também, de agradecer aos professores Ian McReath e Fábio Taioli, pelo auxílio com o inglês; aos responsáveis pelo Laboratório de Informática Geológica, pela permissão para utilizar os seus equipamentos, e aos responsáveis pela gráfica do Instituto de Geociências, por me ajudarem a dar forma a páginas desconexas.

Finalmente, gostaria de agradecer ao meu marido que, mesmo estando longe, sempre me ajudou com idéias e apoio quando tudo parecia dar errado; aos meus pais e meus sogros, pela compreensão e auxílio que sempre me ofereceram; ao querido amigo Jonas, que esteve comigo nas horas mais difíceis, e a todos aqueles que me ajudaram, com palavras de apoio ou mesmo com companhia durante dias e noites que pareciam intermináveis.

## Sumário

### RESUMO IV

ABSTRACT .....	V
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS .....	1
1.2. JUSTIFICATIVAS.....	1
1.3. ALTERNATIVAS DE TRAÇADO DOS CANAIS DE ADUÇÃO.....	2
1.3.1. <i>Primeiro Sistema de Adução</i> .....	2
1.3.2. <i>Segundo Sistema de Adução</i> .....	2
1.4. MÉTODOS.....	3
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>5</b>
2.1. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE MACIÇOS .....	5
2.1.1. <i>Fatores que influenciam na determinação da escavabilidade de um maciço</i> .....	10
2.1.2. <i>Sistemas de Classificação de Maciços Rochosos</i> .....	13
2.2. EXEMPLOS BRASILEIROS .....	17
2.2.1. <i>Barragem de Itaparica</i> .....	17
2.2.2. <i>Canal de Pereira Barreto</i> .....	19
2.2.3. <i>Aproveitamento Múltiplo de Manso</i> .....	22
<b>3. GEOLOGIA REGIONAL .....</b>	<b>24</b>
3.1. <i>Primeiro Sistema de Adução</i> .....	24
3.2. <i>Segundo Sistema de Adução</i> .....	26
<b>4. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DOS MACIÇOS QUANTO À ESCAVABILIDADE .....</b>	<b>28</b>
4.1. PRIMEIRO SISTEMA DE ADUÇÃO.....	28
4.2. SEGUNDO SISTEMA DE ADUÇÃO .....	31
<b>5. ESTIMATIVA DE VOLUMES .....</b>	<b>33</b>
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>35</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXO 1: ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO .....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXO 2: ESQUEMA DE EXECUÇÃO DE SÍSMICA DE REFRAÇÃO .....</b>	<b>40</b>

ANEXO 3: TABELA DE ESCARIFICABILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE ONDAS SÍSMICAS .....	41
ANEXO 4: CORRELAÇÃO ENTRE O “RIPPABILITY RATTING” (RR), A VELOCIDADE DE ONDAS SÍSMICAS E O TRATOR INDICADO PARA ESCARIFICAR O MACIÇO.....	42
ANEXO 5: PERFIL ESQUEMÁTICO DA PROGRESSÃO DE ALTERAÇÃO DE ROCHA E SISTEMAS DE FRATURAMENTO QUE AFETAM A ROCHA SÃ. ....	43
ANEXO 6: PRIMEIRO SISTEMA DE ADUÇÃO – GEOLOGIA REGIONAL .....	44
ANEXO 7: SEGUNDO SISTEMA DE ADUÇÃO – GEOLOGIA REGIONAL.....	45
ANEXO 8: FOTOS .....	46
ANEXO 9: PRIMEIRO SISTEMA DE ADUÇÃO – LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DAS FAIXAS DE OBRA.....	47
ANEXO 10: DETALHE DA REGIÃO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS DO PRIMEIRO SISTEMA DE ADUÇÃO.....	48
ANEXO 11: SEGUNDO SISTEMA DE ADUÇÃO – LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DAS FAIXAS DE OBRA.....	49
ANEXO 12: PERFIL E SEÇÕES TRANSVERSAIS DOS 15 KM INICIAIS DO PRIMEIRO SISTEMA DE ADUÇÃO.....	50

## Resumo

O presente Trabalho de Formatura trata do mapeamento geológico-geotécnico das porções iniciais dos dois canais de adução, em fase de estudos de pré-viabilidade, para a Transposição de Águas do Rio São Francisco para o nordeste setentrional brasileiro.

Com base em observações de campo e sísmica de refração, os materiais presentes nos traçados foram classificados, preliminarmente, quanto à sua escavabilidade, fornecendo informações que sirvam de subsídios para a otimização desses traçados e para estudos posteriores, de maior detalhe. A partir dessa caracterização elaborou-se, para um trecho do canal, perfis e seções transversais onde são mostradas as diferentes categorias de materiais presentes no traçado.

Também foi realizada uma estimativa de volumes a serem escavados para cada categoria de material, em uma área modelo do primeiro sistema de adução. O método empregado baseou-se em perfis longitudinais e seções transversais ao canal, nos quais foi avaliada a área ocupada por cada categoria de material. Os valores obtidos foram interpolados para obtenção dos volumes totais de cada tipo de material a ser escavado.

A caracterização dos materiais e o cálculo dos volumes de escavação em cada tipo de material são importantes em um projeto, uma vez que fornecem subsídios para a determinação dos custos envolvidos e do tempo necessário para a execução da obra.

## Abstract

This Undergraduate Report deals with the geological and geotechnical mapping of the initial stretches of two water supply channels, at the stage of evaluation of possible alternatives, for diverting the São Francisco river to the extreme Northeast of Brazil.

Using field observations and seismic refraction, the materials present along proposed channel courses here preliminarily classified to the ease of their excavation in order to orient the best choice of courses and subsequent more detailed studies. Profiles and transverse sections of one stretch of the channel were prepared in which the different types of material present are shown.

Estimates were made of the volumes of each type of material to be excavated in a model area of the first channel system. The areas occupied by each material type was evaluated in the profiles and sections, and interpolation yields the total volumes.

Characterization of materials and excavation volume estimates are important parts of a project, which contribute to evaluation of costs and duration of the works.

## 1. Introdução

A transposição de águas do Rio São Francisco para suprir as necessidades da região semi-árida do Nordeste, inserida no chamado polígono das secas, é um projeto que apresenta a mais alta relevância nacional.

Os estudos iniciais estão sendo desenvolvidos pelo Consórcio ENGECORPS-HARZA, sob coordenação da FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais, para o Ministério do Planejamento e Orçamento, através da SEPRA - Secretaria Especial de Políticas Regionais.

Os estudos de pré-viabilidade da Transposição de Águas do Rio São Francisco têm por objetivo a caracterização geológico-geotécnica das alternativas de traçado de canais que, a princípio, levarão águas do Rio São Francisco para os principais açudes da região (Orós, Castanhão, Coremas, Poço da Cruz e Sumé, entre outros), além de regularizar as bacias hidrográficas dos rios Salgado/Jaguaribe, Apodi, Açu/Piranhas e Paraíba, nos estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. No Anexo 1 é apresentada uma figura com os traçados esquemáticos dos dois sistemas de adução previstos.

A classificação dos materiais presentes nas alternativas de canais de adução quanto à sua escavabilidade é de extrema importância para a otimização desses traçados visando a redução dos custos oriundos da escavação dos canais, entre outros.

A aluna faz parte da equipe, como estagiária, da ENGECORPS - Corpo de Engenheiros Consultores S/C Ltda., participando deste projeto desde agosto de 1998.

### 1.1. Objetivos

O presente Trabalho de Formatura tem por objetivo principal a caracterização geológico-geotécnica, essencialmente quanto à escavabilidade dos maciços envolvidos, das regiões de tomada d'água em Pernambuco, como um dos subsídios para a escolha das alternativas de traçado para o desenvolvimento, posteriormente, dos estudos de projeto básico.

Secundariamente será efetuada uma estimativa de volumes para cada tipo de material a ser escavado na construção da porção inicial do primeiro canal de adução, para um canal com seção transversal hipotética, que será descrito mais adiante.

### 1.2. Justificativas

O projeto de transposição de águas do Rio São Francisco vem, já de algumas décadas, sendo sugerido por técnicos e políticos. Trata-se de projeto de grande alcance

social, com intuito de proporcionar abastecimento e irrigação do semi-árido nordestino e alimentar as bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Apodi, Açu/Piranhas e Paraíba, favorecendo vastas áreas dos estados Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

A caracterização dos maciços e o cálculo do volume do material a ser escavado são fundamentais ao cálculo de custos da obra, já que em alguns pontos do traçado, dependendo das feições morfológicas do terreno, as obras podem exigir a execução de cortes e aterros muitos altos, o que pode implicar em custos adicionais. Por isso é muito importante que o cálculo do volume a ser escavado seja preciso (tendo em vista os limites de um estudo de pré-viabilidade), pois é um dos fatores nos quais vai se basear a seleção das alternativas a serem estudadas no projeto básico.

### **1.3. Alternativas de Traçado dos Canais de Adução**

O presente trabalho de formatura compreende os estudos referentes a dois sistemas de adução, localizados na margem esquerda do Rio São Francisco, a saber:

- o sistema de adução em Cabrobó, que será estudado até a localidade de Jati;
- o sistema de adução a partir do reservatório de Itaparica, situado a jusante de Cabrobó, que faz parte de uma alternativa de traçado que será estudada nos seus 45 Km iniciais.

#### **1.3.1. Primeiro Sistema de Adução**

Situado próximo à localidade de Cabrobó, ele será avaliado, neste trabalho de formatura, em todo o seu trajeto até a localidade de Jati. A partir daí a transposição de águas continuará por alternativas de traçado cujo estudo não é objetivo deste trabalho.

Essa alternativa é composta por tomada d'água, canais artificiais, estações elevatórias, túneis e aquedutos. Em sua porção inicial foram executados perfis sísmicos para melhor caracterização da região de tomada d'água.

#### **1.3.2. Segundo Sistema de Adução**

É composto por uma alternativa de traçado que compreenderá a tomada d'água no reservatório de Itaparica, os canais artificiais por onde as águas serão transpostas e três estações elevatórias. Foram efetuados perfis sísmicos nas regiões da tomada d'água e das elevatórias, com o objetivo de caracterizar a espessura e possibilitar a avaliação da escavabilidade dos materiais que estarão presentes na escavação.

#### 1.4. Métodos

Para a elaboração do presente Trabalho de Formatura foram realizadas diversas atividades, que podem ser agrupadas em quatro diferentes fases:

- **Compilação de dados:** Consistiu na realização de trabalhos de escritório referentes à organização do material de apoio à fase de mapeamento geológico-geotécnico, e de definição das alternativas de traçado a serem contempladas com o mapeamento. Incluiu pesquisa, compilação de mapas geológicos existentes nas escalas 1:1.000.000 (projeto RADAMBRASIL), 1:250.000 (DNPM), da Restituição Aerofotogramétrica da região - na escala 1:100.000 (cartas da SUDENE/DSG) e interpretação de imagens de satélite (TM-Landsat) na escala 1:100.000, tendo como produto mapas na escala 1:100.000 da região de estudo, a serem utilizados como subsídio para uma otimização das alternativas de traçado a serem verificadas em campo, além de fornecer material de apoio para um melhor aproveitamento, e possibilitando melhores resultados, da etapa de campo.
- **Trabalhos de Campo:** Constaram de mapeamento geológico-geotécnico preliminar da área de estudo, na escala 1:100.000, que se realizou no período de 26/1 a 28/2/1999, e acompanhamento de uma campanha de geofísica, a qual foi realizada principalmente nos locais onde serão instaladas as obras de engenharia mais relevantes (por exemplo, estações elevatórias).
- **Pesquisa Bibliográfica Sobre Escavabilidade/Escarificabilidade de Maciços:** Consistiu em uma pesquisa sobre os diversos sistemas de classificação de maciços quanto à sua escavabilidade e sobre alguns exemplos brasileiros de classificação de maciços em obras como canais e barragens.
- **Tratamento dos Dados de Campo:** Consistiu na compilação dos dados obtidos com o mapeamento geológico-geotécnico da área, além dos dados de sísmica de refração, para a elaboração de mapas geológico-geotécnicos com indicações de litologia, tipos de materiais presentes no perfil de alteração e suas espessuras, baseados nos quais foram elaboradas seções transversais ao eixo do canal, através das quais realizou-se uma estimativa de volumes a serem escavados para cada tipo de material presente, em um trecho modelo, que engloba os quinze quilômetros iniciais do primeiro sistema de adução.

As duas fases finais descritas acima foram realizadas no decorrer do ano, após os trabalhos de campo. Visando fornecer subsídios para a seleção de locais onde sejam executados estudos mais detalhados, a classificação dos materiais foi feita pela comparação dos dados disponíveis com dados constantes nas bibliografias consultadas.

Devido à ausência, em tempo hábil, de dados topográficos detalhados de toda a região de estudo, optou-se, no cálculo de volumes, por uma área modelo, representada por parte do primeiro sistema de adução, onde foram aplicados os métodos de cálculo e classificação estudados.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1. Caracterização Geotécnica de Maciços

A construção dos canais de adução envolvidos no projeto irá envolver escavação/cortes em rocha, rocha alterada e solo. Deste modo, a determinação das características dos materiais presentes nos traçados dos canais é fundamental para a otimização dos mesmos com vistas a trabalhos posteriores (em projeto básico, por exemplo) e também para que seja realizada uma estimativa de custos, uma vez que diferentes técnicas de escavação (com custos diferentes umas das outras) são aplicadas a diferentes tipos de materiais.

Segundo Tammerik (1994), os maciços podem ser classificados, quanto à sua escavabilidade, em três categorias:

- 1<sup>a</sup> - Maciços escavados com a utilização de equipamentos convencionais de terraplenagem;
- 2<sup>a</sup> - Maciços escavados com a utilização de escarificadores ou com eventual emprego de explosivos (fogacho);
- 3<sup>a</sup> - Maciços escavados com a utilização contínua de explosivos.

Essas categorias são definidas quanto ao comportamento do maciço frente à escavação, não considerando as características que determinam esse comportamento, como a litologia, o grau de alteração do maciço e a existência e modo de ocorrência de descontinuidades (diaclasses, falhas, fraturas, etc.), as quais serão abordadas posteriormente.

Diversos órgãos utilizam essa metodologia para a classificação de maciços, entre eles o IPT, o DNER, a PETROBRÁS e a CESP. Cada um desses órgãos possui sua própria definição para cada categoria, e essas definições diferem muito pouco de um órgão para outro, como poderá ser visto a seguir na transcrição das definições utilizadas por cada órgão mencionado (extraídas de Tammerik, op. cit.):

**Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT S.A. (1981)**

#### ***Materiais de 1<sup>a</sup> categoria:***

*Materiais aluvionares (turfas, areias, siltes, argilas); solos residuais de baixa compacidade ou de consistência mole para cuja escavação e remoção não seja necessário o uso de explosivos e sendo esta feita exclusivamente com o emprego de tratores de lâminas, "scrapers", escavadeira e, eventualmente escarificadores leves.*

*Em desmonte subaquático os materiais dessa categoria são facilmente removidos com o uso de dragas ou "dragline".*

***Materiais de 2ª categoria:***

*Argilas vermelhas, argilas compactas e materiais cujas características sejam semelhantes às do Taguá ou solo de alteração de rocha com alta consistência ou compacidade; rocha muito alterada e muito fraturada cuja extração se processa com o uso contínuo e indispensável de escarificador leve ou pesado ou o uso combinado de explosivos, máquinas de terraplenagem e ferramentas manuais usuais.*

*Apresentam baixo rendimento à dragagem convencional, esta podendo ser algo melhorada com o uso de explosivos.*

***Materiais de 3ª categoria:***

*Materiais de alteração de rocha de compacidade média a dura, rochas alteradas, matações e rochas de alta coesão (igual ou superior à do granito) cuja extração se processa com o uso contínuo de explosivos, máquinas e ferramentas apropriadas: marteletes compressores e outras. Definida em terraplenagem como rocha dura.*

*Para materiais submersos a utilização de ensecadeira para a escavação e remoção torna bastante nítido o limite entre esta e a categoria anterior.*

**Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER-ES-T 03-70)**

***Material de 1ª categoria:***

*Compreendem os solos em geral, residuais ou sedimentares, seixos (rolados ou não) com diâmetros máximos inferior a 15 cm, qualquer que seja o teor de umidade que apresentam.*

***Material de 2ª categoria:***

*Compreendem os materiais com resistência ao desmonte mecânico inferior à da rocha não alterada, cuja extração se processe por combinação de métodos que obriguem à utilização do maior equipamento de escarificação exigido contratualmente; a extração eventualmente poderá envolver o uso de explosivos ou processos manuais adequados. Estão inclusos nesta classificação os blocos de rocha de volume inferior a dois metros cúbicos e os matações ou pedras de diâmetro médio compreendido entre 0,15 a 1,00 m.*

**Material de 3<sup>a</sup> categoria:**

Compreendem os materiais com resistência ao desmonte mecânico equivalente à da rocha não alterada e blocos de rocha com diâmetro médio superior a 1,00 m ou de volume igual ou superior a dois metros cúbicos, cuja extração e redução, a fim de possibilitar o carregamento, se processsem somente com o emprego contínuo de explosivos.

**Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS (N862c)****Materiais de 1<sup>a</sup> categoria:**

São materiais compreendendo solos em geral, residuais ou sedimentares, rochas em adiantado estado de alteração, seixos (rolados ou não) com diâmetro máximo de 15 cm, qualquer que seja o teor de umidade que apresentem.

**Materiais de 2<sup>a</sup> categoria:**

São materiais compreendendo solos com resistência ao desmonte mecânico inferior à da rocha não alterada, cuja extração se processse por combinação de métodos que obriguem à utilização do maior equipamento de escarificação exigido; blocos de rocha com volume inferior a um metro cúbico e matacões e pedras com diâmetro médio compreendido entre 0,15 e 1,00 m.

**Materiais de 3<sup>a</sup> categoria:**

São materiais compreendendo solos com resistência ao desmonte mecânico equivalente à da rocha não alterada e blocos de rocha com diâmetro médio superior a 1,0 m ou de volume igual ou superior a um metro cúbico, cuja extração e redução se processsem somente com emprego contínuo de explosivos.

A PETROBRAS inclui ainda uma categoria não utilizada por outros órgãos:

**Materiais especiais:**

São materiais compreendendo solos não incluídos nas categorias acima, tais como argila orgânica ou brejosa, turfa, argila marinha, cuja retirada exige equipamentos não convencionais de corte, e que não devem ser utilizados como aterros.

## Companhia Energética de São Paulo - CESP - Especificações de Serviços de Escavação

### **Escavação em material de 1<sup>a</sup> categoria:**

Este tipo refere-se à escavação onde não haja necessidade do uso de explosivos, ou seja, aos materiais terrosos de fácil desagregação ou rocha decomposta, que possam ser derrocados com o auxílio de equipamentos leves e convencionais.

Na classificação de materiais terrosos de fácil desagregação estão englobados os materiais que não necessitam fogo ou qualquer outro meio especial para extração, compreendendo solos em geral (residuais, coluviais ou sedimentares), seixos (rolados ou não), com qualquer teor de unidade. Incluem-se nesta classificação todos os blocos soltos de rocha ou material duro de tamanho transportável por um homem.

### **Escavação em material de 2<sup>a</sup> categoria:**

Esta categoria compreende os materiais com resistência ao desmonte mecânico inferior à da rocha não alterada, cuja extração se processe por combinação de métodos que obriguem à utilização do maior equipamento de escarificação exigido contratualmente. A extração eventualmente poderá envolver o uso de explosivos ou processos manuais adequados. Estão incluídos nesta especificação os blocos de rocha de volume inferior a dois metros cúbicos e os matacões ou pedras de diâmetro médio inferior a um metro, porém não transportáveis por um homem.

Deverão ser aprovados pela Fiscalização os processos e a execução de todas as atividades ligadas à escavação, incluindo o transporte, estocagem, drenagem, secagem, remanejamento, bota-fora, ou outras atividades correlatas.

Todo e qualquer material escavado será de propriedade do Contratante, que poderá, através da Fiscalização, autorizar a utilização do mesmo em outros locais sem interesse para o projeto.

### **Escavação em material de 3<sup>a</sup> categoria:**

Classificar-se-á nesta categoria, para efeitos de pagamento, todas as formações naturais provenientes da agregação natural de grãos minerais, ligados por forças coesivas permanentes e de grande intensidade, com resistência ao desmonte mecânico equivalente à da rocha não alterada.

Todavia, será requisito, para classificar um material como rocha, que tenha uma dureza e uma textura tal que não possa ser afrouxado ou desagregado com

*ferramentas de mão e que só possa ser removido com o uso prévio de explosivos, cunhas, ponteiras ou dispositivos mecânicos de natureza semelhante.*

*Inclui todos os matacões que tenham mais de dois metros cúbicos e/ou diâmetro superior a um metro. Este tipo de escavação só poderá ser feito com prévia autorização da Fiscalização.*

*O derrocamento a fogo será feito de modo a não prejudicar a rocha considerada sã nem ocasionar "over breaking" considerável. O comprimento dos furos e suas cargas serão determinados de acordo com as condições locais. A última camada será escavada com cargas fracas e o derrocamento deverá ser feito de tal maneira que a superfície da rocha não apresente saliências de mais de meio metro.*

*A Fiscalização indicará os casos em que o desmonte deve ser feito a frio. Depois de iniciada a concretagem não será permitida a escavação a fogo nas áreas próximas a essa concretagem, a critério da Fiscalização.*

*Deverá ser submetido à aprovação da Fiscalização o programa detalhado dos trabalhos de escavação, indicando os processos a serem usados em cada local.*

*O Empreiteiro deverá conduzir os trabalhos de modo que a superfície da rocha, depois de concluída a escavação, se apresente bem rugosa.*

*Os trabalhos de escavação só serão dados por concluídos, e aprovados pela Fiscalização, depois que o local a ser examinado estiver limpo a jato d'água e desimpedido de fragmentos de rocha, lama ou detritos de qualquer espécie.*

*A ocorrência eventual de fendas ou falhas na rocha escavada, além de fraturas ocasionadas pelas explosões, serão, a critério da Fiscalização, tratadas convenientemente, só se permitindo a continuação dos serviços após comprovada, pela Fiscalização, a eficácia desses tratamentos.*

A CESP emprega, ainda, uma categoria definida como escavação mista

#### ***Escavação mista:***

*Quando o volume de material a classificar for composto de volumes parciais de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> categorias, determinar-se-á, de forma estimativa, a percentagem com que cada um destes materiais entra na composição do volume total considerado. Se o material de 1<sup>a</sup> categoria estiver entremeado com o material de 2<sup>a</sup> categoria numa proporção igual ou inferior a 20% do volume total considerado, e de tal forma que não possa ser escavado separadamente, todo o material será considerado como de 2<sup>a</sup> categoria. Para classificar o material só se levará em conta o estipulado nos parágrafos anteriores a este item.*

*Os cortes que apresentem misturas de material de 3<sup>a</sup> com os demais, com limites pouco definidos, deverão merecer atenção especial da Fiscalização, de maneira a permitir uma classificação justa dos materiais escavados.*

### **2.1.1. Fatores que influenciam na determinação da escavabilidade de um maciço**

Um dos primeiros parâmetros a ser definido para a determinação da categoria em que se insere um maciço é a sua litologia. Se apenas a litologia fosse considerada (uma hipótese, já que os outros fatores são igualmente importantes) a sua origem, se ígnea, metamórfica (considerando-se também o grau de metamorfismo e rocha mãe) ou sedimentar, indicaria o seu grau de dificuldade quanto à escavação. Em princípio, as rochas sedimentares são as que possuem menor resistência mecânica, isso devido à sua composição granular e à ausência de contato cristalino entre os grãos; já as rochas ígneas possuem maior resistência mecânica, assim como as metamórficas de mais alto grau (gnaisses, migmatitos e alguns quartzitos); finalmente, as rochas metamórficas de mais baixo grau (xistos, filitos, ardósias e alguns quartzitos menos resistentes) apresentam alta resistência mecânica apenas perpendicularmente aos planos de xistosidade, oferecendo baixa resistência à escavação em outros planos.

Tammerik *et al.* (1994) afirma que para a escarificação de maciços rochosos, dentro de uma mesma unidade litológica, o "fabric" das rochas também é um fator muito importante, pois rochas com granulometria mais grossa (com grãos maiores que 5 mm) são, em geral, mais fáceis de escarificar que aquelas de granulometria mais fina (grãos menores que 1 mm).

Para o presente trabalho de formatura foram realizados mapeamento geológico-geotécnico preliminar e alguns perfis de sísmica de refração (também executados de forma a fornecer informações mais gerais da área, em uma malha bastante aberta e apenas nos pontos onde serão implantadas as obras principais de engenharia). Outro fator importante a ser considerado, na avaliação da resistência dos maciços à escavação, é a sua resistência à compressão simples (e esse tipo de ensaio não foi realizado). Na Tabela 1 é associado o intervalo aproximado de resistência à compressão simples a observações realizadas em campo.

Grau	Descrição	Identificação em Campo	Intervalo Aprox. de Resistência à Compressão Simples (MPa)
S1	argila muito mole	facilmente penetrada várias polegadas pelo punho	< 0.025
S2	argila mole	facilmente penetrada várias polegadas pelo polegar	0.025 – 0.050
S3	argila firme	pode ser penetrada várias polegadas pelo polegar a partir de esforço moderado	0.05 – 0.10
S4	argila rija	prontamente identada pelo polegar, mas somente com grande esforço	0.10 – 0.25
S5	argila muito rija	prontamente identada pela unha do polegar	0.25 – 0.50
S6	argila dura	identada com dificuldade pela unha do polegar	> 0.50
R0	rocha extremamente branda	identada pela unha do polegar	0.25 – 1.00
R1	rocha muito branda	desagrega com golpes firmes da ponta do martelo de geólogo; pode ser descascada por canivete	1.0 – 5.0
R2	rocha branda	descascada com dificuldade pelo canivete; cavidades pouco profundas feitas por golpes firmes de martelo de geólogo	5.0 – 25
R3	rocha média	não pode ser arranhada ou descascada pelo canivete; amostra pode ser quebrada com somente um golpe firme do martelo de geólogo	25 – 50
R4	rocha dura	amostras precisam de mais de um golpe de martelo de geólogo para quebrar-se	50 – 100
R5	rocha muito dura	amostras requerem muitos golpes de martelo de geólogo para quebrar-se	100 – 250
R6	rocha extremamente dura	amostras somente são lascadas através de golpes de martelo de geólogo	> 250

Tabela 1: Descrição dos materiais para a identificação da resistência mecânica (extraída de Tammerik, 1994).

A abrasividade, que é uma característica importante, pois um material muito abrasivo provoca um desgaste muito grande nos equipamentos e consequente aumento de custos, depende da composição e proporção mineralógica do maciço, dureza e forma dos grãos e da dureza e resistência da matriz.

O grau de alteração da rocha é outro fator muito importante para a determinação de sua escavabilidade, já que quanto mais alterada a rocha, menor a sua resistência mecânica, e, consequentemente, menor a sua resistência à escavação. Ele é determinado pelo estado de desagregação e decomposição do maciço em relação à rocha sã original.

Em particular, a determinação do grau de alteração de rochas sedimentares é mais difícil, se comparada à determinação do grau de alteração de rochas ígneas ou metamórficas, pois essas últimas apresentam, geralmente, alterações de coloração (devidas à intemperização de minerais) com relação à rocha sã, tornando mais fácil a diferenciação entre rocha sã e alterada. Já as rochas sedimentares normalmente não apresentam alterações de coloração, principalmente quando pouco alteradas. Também se deve considerar que, em alguns casos, alguns maciços sedimentares, quando alterados, podem

ficar mais resistentes, como por exemplo, no caso de arenitos limonitzados (Tammerik, op. cit.).

A determinação do grau de alteração de um maciço é, por vezes, muito difícil, já que é feita de maneira descritiva e baseada nas observações de um geólogo, portanto a sua confiabilidade depende muito da experiência profissional deste. Além disso, cada tipo litológico sofre evolução diferenciada em seu estado de sanidade, segundo as condições do meio físico em que se encontra.

Na Tabela 2 é mostrada a classificação utilizada no presente trabalho, baseada em observações realizadas em campo.

Grau de Alteração	Descrição do Material	Termo
A1	Sem sinal visível de alteração do material rochoso; pode ocorrer pequena descoloração nas superfícies das descontinuidades principais	Rocha Sã
A2	A superfície da rocha e das descontinuidades apresenta descoloração; as porções descoloridas apresentam alguma perda de resistência	Rocha Pouco Alterada
A3	Parte (menos que a metade) do material rochoso está decomposto; ocorrem blocos de rocha sã ou pouco alterada	Saprolito (rocha moderadamente alterada)
A4	Mais da metade do material rochoso está decomposto ou desintegrado para solo; ocorrem fragmentos de rocha sã ou pouco alterada	Saprolito (rocha muito alterada)
A5	Todo o material rochoso está decomposto; estruturas originais da rocha estão preservadas	Solo Saprolítico (rocha completamente alterada)
	Todo o material rochoso está decomposto para solo; não há estruturas reliquias; o solo está <i>"in situ"</i>	Solo Residual

Tabela 2: Grau de alteração de maciços rochosos.

Por fim, a existência de descontinuidades na rocha é outro fator muito importante na determinação da escavabilidade do material rochoso, pois elas representam pontos de fraqueza preferenciais ao rompimento do maciço. As descontinuidades mais importantes na avaliação de um maciço, quanto a sua escavabilidade, são aquelas onde a resistência à tração é baixa, favorecendo a separação de porções de rocha pelos planos de descontinuidade (Tammerik *et al.*, op. cit.). Entre elas estão fraturas, diaclases, falhas, dobras, xistosidade, contatos litológicos, estratificações e foliações. Existem vários parâmetros a serem avaliados quando da caracterização dessas descontinuidades, estando entre eles:

- A atitude dessas descontinuidades, que determinará a forma dos blocos que serão gerados quando da escavação, além de poder auxiliar na programação do desmonte do material;
- O espaçamento entre as descontinuidades, que irá controlar o tamanho dos blocos gerados, além de influenciar nas características geotécnicas e hidrogeológicas do maciço;
- O número de famílias de descontinuidades, que, além de influenciar na forma e tamanho do bloco, também indica a facilidade de ocorrência de descontinuidades e, portanto, de pontos de fraqueza no maciço;
- A persistência das descontinuidades (o tamanho de uma falha, por exemplo), pode indicar se a ocorrência destas é localizada a algumas porções do maciço ou então ocorre em todo ele, sendo importante para a previsão da qualidade dos materiais a serem escavados;
- O tamanho do bloco, que é determinado em função do espaçamento, número de famílias e da persistência das descontinuidades, permite uma avaliação do esforço a ser empregado para a sua remoção, determinando o método a ser utilizado e seus custos. Quanto menores forem os blocos, mais fácil e barata será a sua remoção.
- A rugosidade das paredes das descontinuidades pode ser um parâmetro importante na penetrabilidade do dente escarificador e no desalojamento dos blocos de rocha (Tammerik *et al.*, op. cit.). Este parâmetro tem maior importância nas descontinuidades de pequena abertura e sem preenchimento, onde existe contato entre as paredes.

A abertura (distância entre as paredes das descontinuidades, que pode favorecer a penetração de dentes escarificadores), a resistência das paredes, além da ocorrência ou não de preenchimento dessas descontinuidades (que interfere no comportamento do maciço quanto à resistência ao cisalhamento e deformabilidade), também são fatores importantes para a determinação da escavabilidade do maciço.

### **2.1.2. Sistemas de Classificação de Maciços Rochosos**

Um dos sistemas mais antigos para a classificação de maciços rochosos quanto a sua escavabilidade/escarificabilidade e um dos mais difundidos no meio técnico é o sistema de classificação baseado em velocidades de ondas sísmicas. É um método indireto que se baseia na determinação da velocidade de propagação das ondas elásticas de choque, sendo que são registradas as ondas diretas compressionais que percorrem a primeira camada de rocha e as ondas refratadas nos topes das camadas subjacentes, como pode ser observado no Anexo 2 (Masuda & Bartorelli, 1999).

A velocidade de propagação de ondas sísmicas pode ser diretamente relacionada com as características do maciço onde as descontinuidades funcionam como atenuadores de velocidade, indicando um comportamento médio do maciço frente à escavação (Tammerik, op. cit.). Essas ondas são captadas por geofones que registram o tempo de sua chegada após terem sido geradas por algum impacto ou explosão. As velocidades reais de propagação e o cálculo de espessuras e profundidades são feitos por programas de computador desenvolvidos especificamente para o tratamento de dados sísmicos.

As velocidades reais obtidas são, então, comparadas com tabelas fornecidas pelos fabricantes de equipamentos (por exemplo, a Caterpillar), calculadas estatisticamente para diversos tipos de rocha e equipamentos (exemplo no Anexo 3), verificando-se, deste modo, a escarificabilidade dos maciços envolvidos.

Devido ao fato de essas tabelas apresentarem faixas de valores de velocidades onde a escarificabilidade é indeterminada, e também por essas tabelas terem sido calculadas para maciços situados em regiões de clima temperado (uma vez que a maior parte das empresas fabricantes desses equipamentos está situada nos Estados Unidos ou na Europa), existem controvérsias quanto à representatividade do método quando este é aplicado a maciços situados em regiões tropicais, que apresentam feições de intemperismo diferentes que não são caracterizadas por sondagens geofísicas. Deste modo, o ideal é que sejam utilizados para a classificação dos maciços (principalmente nos casos em que as velocidades de propagação de ondas sísmicas nos maciços situa-se nas faixas marginais onde a escarificabilidade é indeterminada), além da geofísica, outros parâmetros, descritos anteriormente no item 2.1.

Para suprir a deficiência da aplicação da geofísica na caracterização de maciços cujos valores de velocidades de propagação de ondas sísmicas situem-se nas faixas marginais, vários autores desenvolveram outros métodos para a classificação de maciços quanto à escavação superficial, alguns dos quais serão sucintamente descritos a seguir:

**- Classificação de Weaver (1975) *in* Tammerik (op. cit.)**

O sistema para classificação de maciços desenvolvido por esse autor atribui notas aos seguintes parâmetros: velocidade de propagação de ondas sísmicas, grau de alteração da rocha, atitude das descontinuidades, dureza da rocha, espaçamento entre descontinuidades, sua persistência e a abertura das paredes dessas descontinuidades. A somatória dessas notas indica o grau de dificuldade de escarificação do maciço rochoso.

**- Classificação de Kirsten (1982) *in* Tammerik (op. cit.)**

Kirsten (op. cit.) posiciona-se contra a adoção ao sistema que utiliza a somatória de parâmetros e a velocidade de ondas sísmicas na avaliação do maciço, tendo elaborado um

sistema de avaliação de escavabilidade de maciços que abrange desde solos e detritos até rochas muito duras, baseando-se na expressão:

$$N = Ms(RQD/Jn)Js(Jr/Ja)$$

Onde: N: nota atribuída ao maciço, indicando a classe de escavação;

Ms: resistência do maciço;

RQD: "rock quality designation" - índice de qualidade da rocha (ou o índice Jc - número de descontinuidades por metro cúbico do maciço, que pode ser utilizado indiretamente para a determinação do RQD do maciço);

Jn: índice do número de famílias de descontinuidades;

Js: índice da direção relativa das descontinuidades principais do maciço em relação à direção de escarificação;

Jr: índice da rugosidade das paredes das descontinuidades;

Ja: índice de alteração das paredes das descontinuidades.

O sistema de Kirsten (op. cit.) considera também os equipamentos utilizados para a escavação, já que as classes de escavação correspondem a um acréscimo de esforço para escavar, o qual é representado pelo aumento da potência dos tratores.

#### - Classificação de Smith (1986) *in Tammerik et al. (op. cit.)*

Este autor utiliza, como parâmetros para a classificação de maciços rochosos quanto a sua escavabilidade, intervalos de valores de resistência à compressão simples, o grau de alteração e dureza da rocha, atitude e espaçamento das descontinuidades, sua persistência e a abertura das paredes dessas descontinuidades. A cada um desses parâmetros é atribuída uma nota, cuja somatória determina o índice RR ("rippability rating"), cujo valor é, então, transposto para a figura 1, no Anexo 4, que correlaciona o RR com as velocidades de ondas sísmicas e a potência e rendimento do equipamento a ser utilizado. Esse procedimento elimina dúvidas quanto à utilização da sísmica de refração para a avaliação da escavabilidade de um maciço, além de permitir uma correlação mais fácil das informações obtidas sobre o maciço com as tabelas de desempenho fornecidas pelos fabricantes de tratores. A Tabela 3 mostra as notas a serem atribuídas, segundo Smith (op. cit.), aos parâmetros do maciço para a determinação de sua escarificabilidade.

Classificação descritiva	rocha muito boa	rocha boa	rocha regular	rocha ruim	rocha muito ruim
Dureza da rocha (resist. à compres. simples)	muito dura >70 MPa	dura 25-70 MPa	média 10-25 MPa	branda 3-10 MPa	muito branda < 3 MPa
Nota	≥10	5	2	1	0
Alteração da rocha	sem alteração	pouco alterada	alterada	muito alterada	completamente alterada
Nota	10	7	5	3	1
Espaçamento de descontinuidades (mm)	>3000	3000 - 1000	1000 - 300	300 - 50	< 50
Nota	30	25	20	10	5
Persistência de descontinuidades	não contínuas	pouco contínuas	contínuas sem preenchimento	contínuas com algum preenchimento	contínuas com preenchimento
Nota	5	5	3	0	0
Preenchimento de descontinuidades	sem separação	separação pequena	separação < 1 mm	preenchimento < 5 mm	preenchimento >5 mm
Nota	5	5	4	3	1
Direção e mergulho de descontinuidades	muito desfavorável	desfavorável	pouco desfavorável	favorável	muito favorável
Nota	15	13	10	5	3

Tabela 3: Classificação quanto à escarificabilidade (Smith, 1986, *in* Tammerik et al., 1994).

#### - Classificação de Singh, Denby, Egretli & Pathan (1986) *in* Tammerik et al. (op. cit.)

Os autores propõem um sistema baseado nos seguintes parâmetros: velocidade de ondas sísmicas, alteração do maciço, resistência à tração, abrasividade do material e espaçamento de descontinuidades. Para cada parâmetro é atribuída uma nota. A análise do resultado da somatória das notas determina o grau de escavabilidade do maciço, e a partir daí os autores sugerem o melhor equipamento a ser utilizado em cada caso (Tabela 4).

Parâmetros	Classe de Rocha				
	1	2	3	4	5
Resistência à Tração	< 2	2 - 6	6 - 10	10 - 15	> 15
Nota	0 - 3	3 - 7	7 - 11	11 - 13	13 - 15
Alteração do Material	completa	grande	moderada	pequena	nenhuma
Nota	0 - 2	2 - 6	6 - 10	10 - 13	13 - 15
Velocidade de Ondas Sísmicas	400 - 1100	1100 - 1600	1600 - 1900	1900 - 2500	> 2500
Nota	0 - 6	6 - 10	10 - 14	14 - 18	18 - 20
Abrasividade da Rocha	muito baixa	baixa	moderada	alta	muito alta
Nota	0 - 7	7 - 9	9 - 13	13 - 18	18 - 20
Espaçamento de Descontinuidades (m)	< 0,06	0,06 - 0,3	0,3 - 1	1 - 2	> 2
Nota	0 - 7	7 - 15	15 - 22	22 - 28	28 - 30
Nota Total	< 25	25 - 50	50 - 70	70 - 90	> 90
Escavabilidade	fácil	moderada	difícil	marginal	escavação a fogo
Trator recomendado	sem escarificador ou D7	D7 - D8	D8 - D9	D 10 ou escavação a fogo	-

Tabela 4: Determinação da escavabilidade de maciços. (modificada de Singh, Denby, Egretli & Pathan, 1985, *in* Tammerik et al., 1994).

Após a avaliação desses diversos sistemas de classificação de maciços observa-se que cada autor considera, dentre todos os parâmetros existentes, alguns deles como sendo mais significativos, não fazendo uso de outros que poderiam vir a ser importantes. Para uma boa determinação da escavabilidade de maciços (o que seria necessário para a elaboração do projeto executivo de Transposição de Águas do Rio São Francisco), deve-se utilizar vários sistemas de classificação de maciços, para que se possa efetuar uma comparação entre os resultados obtidos em cada um deles e determinar qual ou quais deles forneceriam melhores resultados.

## 2.2. Exemplos Brasileiros

Devido aos objetivos do trabalho, que são de estudos de pré-viabilidade para a implantação dos canais de adução, não estão disponíveis dados como ensaios de laboratório, resultados de sondagens, ou mesmo um mapeamento detalhado de campo, serão utilizados dados de outras obras de engenharia que tenham, de alguma maneira, coletado dados sobre materiais semelhantes aos que são objeto deste estudo, para que seja feita uma comparação visando uma melhor caracterização dos materiais presentes nas alternativas de canais.

### 2.2.1. Barragem de Itaparica

Esta barragem, situada no trecho denominado seção inferior do médio São Francisco, fica a 10 Km a jusante da cidade de Petrolândia, PE, e 50 Km a montante do complexo hidrelétrico Paulo Afonso/Moxotó, numa região onde ocorrem rochas do Complexo Migmatítico Presidente Juscelino e rochas graníticas/granitóides da Suíte Granitóide Tipo Pedra-Mata Grande, rochas nas quais também está inserida a porção inicial do traçado do canal do primeiro sistema de adução, nas proximidades da cidade de Cabrobó.

Na região, o Complexo Presidente Juscelino é composto por migmatitos cujo neossoma é quartzo-feldspático e o paleossoma é formado por corpos de biotita-xistos e gnaisses ricos em minerais ferromagnesianos (Aragão *et al.*, 1982), ao passo que a Suíte Granitóide Tipo Pedra-Mata Grande é composta por granitóides diversos e granitos porfiróides a biotita e/ou hornblenda.

Devido ao intenso tectonismo a que foi submetida a região, originaram-se três diferentes sistemas principais de diaclases, cuja coexistência ocasiona a formação de grandes paralelepípedos de rocha, responsáveis pela existência de grande quantidade de matações na região.

Os solos residuais, resultantes da decomposição das rochas granítóides e dos migmatitos, possuem espessuras bastante variáveis, sendo as maiores correspondentes às rochas xistosas do paleossoma. Esses solos encontram-se, de maneira geral, sotopostos a solos coluvionares e/ou aluvionares de pequenas espessuras. Também ocorrem, na área em questão, matações, tanto intercalados com as camadas de solo de alteração de rocha (solo saprolítico e saprolito), como superficialmente.

Foi utilizado, na construção do núcleo impermeável da barragem, saprolito de granitos/granítóides e de rochas gnáissicas, tendo sido feitos diversos ensaios para a sua caracterização.

A sísmica de refração indicou camadas de saprolito de granito/granítóide e gnaisse com espessuras variando entre 2 e 7 m. O material mostrou-se escarificável (com trator D-8 provido de dois dentes escarificadores) quando apresentava velocidades sísmicas entre 350 a 1500 m/s.

A remoção desse material com escarificadores mostrou-se economicamente viável, apesar de ter sido realizada a escarificação seletiva, dos custos envolvidos na separação granulométrica para remoção de blocos de rocha com diâmetros iguais ou superiores a 15 cm (que se deu manualmente ou com a utilização de equipamentos de terraplenagem providos de lâmina em forma de pente com distância entre dentes de 15 cm) e na umidificação e homogeneização do material (Aragão *et al.*, op. cit.).

Nakao & Mattar (1986) afirmam que o saprolito de rocha em estágio de alteração mais avançado, utilizado no núcleo impermeável da barragem, quando escavado com trator de esteira do tipo CAT D8 provido de dois dentes escarificadores, originou um material bem graduado, contendo desde blocos de rocha em vários estágios de alteração até frações finas silto-argilosas. Os materiais mais grosseiros, com níveis menos avançados de alteração, foram ocupando as posições mais externas da barragem.

Foram abertas trincheiras com o escarificador para avaliar a produção do mesmo e a correlacionabilidade da profundidade escavada com os resultados da sísmica de refração. Constatou-se que 80 m<sup>3</sup> de material era escavado e empilhado nas extremidades das trincheiras por hora, estando aí incluso o tempo gasto para abastecimento, lubrificação e pequenos reparos nas máquinas. As trincheiras abertas mostraram que as camadas que apresentavam velocidades sísmicas de até 1500 m/s são escarificáveis com trator D-8 provido de dois dentes escarificadores, indicando assim a boa correlacionabilidade da sísmica de refração com o limite prático para a escavação.

Vale lembrar que atualmente existem equipamentos mais potentes no mercado (por exemplo, os tratores D-10 da Caterpillar), o que provavelmente aumentaria o limite de

escarificabilidade do maciço com relação às velocidades de ondas sísmicas, além de aumentar a produção dos equipamentos.

### 2.2.2. Canal de Pereira Barreto

Esta obra, uma das pioneiras no Brasil em termos de avaliação da escavabilidade e/ou escarificabilidade de materiais, consiste em um canal com 9 Km de extensão, de seção trapezoidal, com largura de base variando de 50 a 70 m, apresentando taludes escavados de até 65 m de altura. Ele interliga os reservatórios da Usina de Ilha Solteira e da Usina de Três Irmãos.

Grande parte desse canal, aproximadamente 60%, foi escavada em arenitos do Grupo Bauru, presentes na localidade de Pereira Barreto.

Akira Koshima (1982) faz, em sua dissertação de mestrado, um estudo geotécnico sobre materiais brandos, em particular sobre os arenitos do Grupo Bauru, cortados pelo canal de Pereira Barreto.

Devido à escassez, na época de início do projeto, de publicações contendo dados geomecânicos referentes ao arenito Bauru, ou até mesmo sobre rochas com características similares, foram desenvolvidas tecnologias de investigação mais apropriadas ao caso, tanto para avaliações em campo e laboratório quanto para a interpretação dos resultados.

O canal foi implantado sobre arenitos da Formação Santo Anastácio, do Grupo Bauru, cuja litologia mais característica é representada por arenitos marrom-avermelhados a arroxeados, de granulação fina a média, medianamente a mal selecionados, com grãos arredondados a subarredondados e cobertos por película limonítica. Mineralogicamente são constituídos por quartzo, ocorrendo subordinadamente feldspatos, calcedônia e opacos. Freqüentemente ele se apresenta com caráter subarcoseano (Koshima, op. cit.).

Esses arenitos ocorrem como bancos maciços ou com estruturas sedimentares pouco pronunciadas, com espessuras variando de decimétricas a métricas. Quando ocorrem capeando os derrames basálticos da Formação Serra Geral, esses arenitos apresentam-se com granulometria mais fina, ocorrendo arenitos siltosos e argilosos, apresentando pior seleção granulométrica. Ocorrem lentes de argilitos intercaladas nos arenitos.

Foram identificados, dentro do maciço arenítico, quatro litotipos principais, descritos a seguir:

- arenito homogêneo: constituído predominantemente por areias de granulometria fina a média, com cimentação argilosa e ferruginosa, coloração marrom avermelhada. Aparentemente homogêneo quando são, apresenta estruturas sedimentares (acamamentos plano-paralelos) pronunciadas após um tempo de

exposição ao intemperismo. Apresenta um sistema de fraturamento pouco pronunciado, com uma certa intensificação na zona de transição deste com o solo residual de arenito, porém com fraturas pouco extensas. Sua resistência à compressão simples vai desde 400 KPa a mais de 3,6 MPa.

- arenito "brechóide": constituído predominantemente por areias de granulometria fina a média, com cimentação carbonática e/ou argilo-ferruginosa. A cimentação carbonática ocorre em forma de níveis de enriquecimento milimétricos a centimétricos, formando nódulos ou preenchendo fraturas, dando ao arenito um aspecto "brechóide". Possui resistência à compressão simples variando de 1,2 MPa a mais de 3,6 MPa.
- arenito "estratificado": possui, a princípio, a mesma textura e cimentação do arenito homogêneo, apresentando, porém, intensa estratificação/laminação milimétrica de areia esbranquiçada, intercalada com as porções marrom-avermelhadas. Essas estruturas apresentam atitudes aleatórias, apesar de localmente poderem ser estratificações do tipo cruzado. Sua resistência à compressão simples varia de 1,2 a mais de 3,6 MPa.
- argilito: ocorre intercalado aos arenitos, localmente. Constitui-se de argila rija a muito dura, altamente sobredensada, apresentando intenso fissuramento e pequenos bolsões preenchidos por argila mole. Quando ressecado parte-se em placas milimétricas em forma de pastilhas. Ocorrem lentes com enriquecimento de cimentação carbonática preenchendo fissuras, assim como lentes mais arenoso-argilosas. Apresenta resistência à compressão simples variando de 1,2 a mais de 3,6 MPa.

O arenito classificado como homogêneo predomina em quase toda a área de implantação do canal, além do arenito estratificado, o qual ocorre, também em uma grande área (aproximadamente 1600 m). Os argilitos ocorrem em lentes subhorizontais com espessura máxima de 2,2 m, e os arenitos estratificados, apesar de muito mais disseminados que os argilitos, também ocorrem na forma de lentes, as quais apresentam espessura máxima de 1,5 m.

Devido à grande variação da resistência à compressão uniaxial dos materiais presentes, estes foram divididos (de acordo com essa resistência) em quatro diferentes categorias, descritas a seguir:

- B0 - resistência menor que 400 KPa: englobando os solos em geral (coluvião, aluvião, residual de arenito e residual de argilito);

- B1 - resistência entre 400 KPa e 1,2 MPa (resistência média de 0,86 MPa): englobando os arenitos homogêneos;
- B2 - resistência entre 1,2 e 3,6 MPa (resistência média de 2,33 MPa): englobando os arenitos homogêneos, arenitos "brechóides", arenitos "estratificados" e argilitos;
- B3 - resistência maior que 3,6 MPa (resistência média de 5,0 MPa): englobando os mesmos litotipos da categoria anterior.

Também foram executados perfis de sísmica de refração, os quais indicaram os seguintes valores para os diversos maciços presentes na região:

- solo coluvial: 0,4 a 0,5 Km/s;
- solo residual e arenito de resistência muito baixa (muito alterado): 0,8 a 1,5 Km/s;
- arenito são: 2,2 a 2,8 Km/s
- basalto: 5,0 a 5,4 Km/s.

Koshima (op. cit.) afirma que, com base nestes dados e em manuais da Caterpillar, pôde-se dizer que até as velocidades de 2,5 Km/s o material era escarificável com trator de esteira do tipo D9H, e que valores um pouco superiores a este estariam em uma faixa onde a sua definição quanto à escarificabilidade dependeria da avaliação de outros fatores, como fraturamento, xistosidade, etc.

Como grande parte do material encontrava-se na faixa marginal de escavação, a definição de sua escavabilidade ocorreu durante uma escavação experimental, onde se constatou que os materiais não saturados (solo coluvionar) eram facilmente removíveis com pá carregadeira acoplada a tratores de esteira (D8 ou D9, da Caterpillar), assim como os materiais terrosos saturados (solo residual, solo aluvionar, argilito e parte do arenito B1) eram removíveis com escavadeira elétrica de grande porte (Bucyrus, modelo 190-B).

Os arenitos B1 e B2 (velocidade sísmica inferior a 1,8 Km/s) mostraram-se plenamente escarificáveis. Os arenitos B3, com velocidade sísmica da ordem de 2,8 Km/s, mostraram-se igualmente escarificáveis, porém provocaram grande desgaste no equipamento, o que indicou que o melhor método de escavação destes seria o procedimento combinado fogacho-escarificação.

Apesar de ter sido determinada uma boa escarificabilidade para os arenitos B1 e B2 utilizou-se, para a escavação de todos os materiais areníticos, a escavadeira 190-B, após a compartimentação desses materiais através de fogacho de bancada (10 a 15 m de altura).

### 2.2.3. Aproveitamento Múltiplo de Manso

Localizada no município de Chapada dos Guimarães, MT, no Rio Manso, principal afluente do Rio Cuiabá, constitui-se em uma obra com a finalidade principal de geração de energia elétrica.

Monti *et al.* (199?) relatam que as estruturas principais do APM-Manso são fundadas em solos e rochas metassedimentares do grupo Cuiabá, que incluem metassiltitos e metarenitos. Na região predominam solos de alteração desses materiais, com diminuição do grau de alteração com o aumento de profundidade. Esses materiais possuem espessura média variando entre um e seis metros. Eventualmente ocorre solo residual maduro e/ou coluvial, sendo, em geral, os solos de cobertura restritos a um pouco espesso capeamento orgânico. O maciço rochoso apresenta três sistemas principais de fraturamento (diaclasses), cortados por megafraturas (Anexo 5).

Nessa obra utilizou-se materiais, denominados "Random" fino e grosso, provenientes da alteração *"in situ"* dos metassiltitos e dos metarenitos, escavados principalmente nos locais de implantação de obras de engenharia. Em particular, solos de textura fina e plásticos, cuja utilização foi prevista, no projeto básico dessa obra, para a construção do núcleo impermeável da barragem, são escassos na região, o que tornou a utilização desse material uma alternativa economicamente atraente.

O "Random" engloba os materiais exploráveis mecanicamente, sem a utilização de explosivos, obtidos pela exposição do topo rochoso visando a confecção das fundações das estruturas de concreto, e também de áreas de empréstimo específicas, as quais situavam-se a montante da barragem, o que diminuiu os custos com recuperação de áreas degradadas.

A camada mais superficial, escavada com lâmina de trator D8, consiste no "Random" fino, utilizado no núcleo impermeável da barragem. No aprofundamento das escavações, com o uso intensificado de trator provido de dentes escarificadores obteve-se o "Random" grosso, que continha blocos de rocha dura, medianamente alterada (A3).

O "Random" fino, aplicado nas porções impermeáveis da obra, é basicamente constituído por uma mistura de solo colúvio/residual de origem metassiltítica (A5), rocha alterada mole (A4), e fragmentos pequenos de rocha alterada dura (A3), além de pedregulhos quartzosos.

Os materiais denominados "Random" grosso foram utilizados na construção de aterros compactados permeáveis a semipermeáveis e a porção desse material que foi segregada durante a operação de espalhamento do material para a compactação, que foi denominada "Random" grosso segregado, foi utilizada para a proteção de taludes de diques

e barragens. É constituído basicamente por uma mistura de pedregulhos (0,48 cm a 7,6 cm) de rocha metassiltítica muito alterada (A4) a medianamente alterada (A3), com predominância de rocha A4 (50 a 90%); blocos de rocha (7,6 a 20 cm) metassiltítica medianamente alterada (A3) a muito alterada (A4), com predominância de rocha A3 (50 a 100%); areia, proveniente de rocha metassiltítica muito alterada; e uma fração siltosa pouco argilosa.

Como dito anteriormente, parte do material "Random" foi obtido nas regiões onde foram realizadas escavações obrigatórias para a construção da barragem. Nesses locais o material foi escavado com a utilização de lâmina de trator do tipo CAT D8 e escavadeira hidráulica de grande porte (FIAT FHC-450) até o limite possível, obtendo-se deste modo, o material classificado como "Random" fino. Após essa etapa utilizava-se intensivamente o escarificador, para a obtenção do material denominado "Random" grosso, até a exposição do topo rochoso, o qual seria escavado a fogo até as cotas de fundação das obras civis.

As jazidas exploradas para a obtenção do material "Random" foram alocadas a montante da barragem, onde será implantado o reservatório, em regiões muito próximas ao local das obras, diminuindo assim os custos com recuperação da área degradada e com transporte do material. O "Random" fino foi escavado com a utilização de lâmina de trator de esteira CAT D8, e onde o terreno era muito acidentado utilizou-se escavadeira hidráulica de grande porte (FIAT FHC-450). Esta última mostrou-se mais eficiente, no processo de escavação, que o trator de esteira, apesar do inconveniente de que o material escavado apresentou grande quantidade de blocos de rocha muito alteada A4, que, segundo Monti *et al.* (op. cit.), apresentavam-se como tijolos, necessitando então da utilização de trator de esteira e pá carregadeira para destorroar estes blocos e homogeneizar o material. Após o limite de escavação com lâmina de trator, ou com escavadeira hidráulica, ter sido atingido, utilizou-se, para a escavação do "Random" grosso, o escarificador do trator CAT D8.

Como a escavação em jazidas apresentou volume superior ao volume previsto a ser utilizado na construção dos aterros, o uso do escarificador foi moderado, o que possibilitou a geração de um material com granulometria muito semelhante ao "Random" fino, ao contrário das escavações obrigatórias, que exigiram intensa utilização do escarificador, gerando grande quantidade de blocos de rocha medianamente alterada.

### 3. Geologia Regional

O primeiro sistema de adução situa-se num contexto geológico que abrange, no início do traçado, a planície aluvionar do Rio São Francisco. Estas aluviões recobrem, a norte, parte do complexo metamórfico Pré-Cambriano denominado pelo projeto RADAMBRASIL (1983) como Presidente Juscelino. O canal segue por essas litologias até o lineamento de Pernambuco, importante falha transcorrente de caráter regional que marca o contato tectônico entre o Complexo Presidente Juscelino e o Complexo Monteiro, por onde segue o canal, e com o grupo Salgueiro-Cachoeirinha/Cachoeirinha, cujas litologias serão atravessadas pelo canal em sua porção mais a norte. As litologias descritas acima são, por sua vez, intrudidas por duas suítes granitóides/graníticas distintas, a Suíte Granítóide do Tipo Pedra Mata Grande e a Suíte Intrusiva Serra da Aldeia. Uma visão do contexto geológico regional em que se insere o traçado do primeiro sistema de adução é apresentada no Anexo 6.

Já a porção a ser estudada do segundo sistema de adução passa sobre rochas sedimentares cretáceas na maior parte do seu percurso, sendo que na sua porção final, podem ocorrem coberturas tércio-quaternárias. Durante todo o seu trajeto o traçado do canal intercala-se entre rochas do Grupo Santo Amaro e da Formação Marizal, a qual recobre os sedimentos neocomianos do Grupo Santo Amaro, parecendo, no mapa geológico regional do segundo sistema de adução (Anexo 7), interdigitada a estes.

Uma vez que o presente trabalho trata de duas áreas distintas, as informações referentes à geologia regional serão descritas em função dos dois sistemas de adução. No Anexo 1 estão representadas as situações geológicas regionais das duas áreas de trabalho.

#### 3.1. Primeiro Sistema de Adução

Situa-se em um contexto geológico que sai da planície aluvionar do Rio São Francisco e entra em um domínio de rochas migmatíticas, homogêneas a localmente heterogêneas, com leucossoma composto por rochas quartzo-feldspáticas e mesossoma composto por quartzo-micaxistos (RADAMBRASIL, op. cit.). Ocorrem também corpos quartzíticos em algumas localidades. Essa unidade foi descrita neste projeto como Complexo Presidente Juscelino, para o qual supõe-se idades até arqueanas, que são, porém, de difícil determinação devido à presença constante de material granitizado e ao seu desenvolvimento policíclico. Essa unidade situa-se na porção basal da coluna estratigráfica da região, e seus contatos com as demais litologias ocorrem, quase sempre, por falhamentos.

No Lineamento de Pernambuco as rochas apresentam-se milonitizadas, as elevações são alongadas e as drenagens principais são paralelas e condicionadas à direção do Lineamento.

A partir das coordenadas UTM aproximadas N-9070900 e E-0448500 o traçado entra em região com domínio de rochas gnáissicas, augen-gnaisses homogêneos, compostos por quartzo, feldspato, biotita e anfibólio. Também ocorrem, nesta unidade, corpos quartzíticos alongados em algumas regiões. Segundo o mapeamento geológico efetuado para o Projeto RADAMBRASIL (op. cit.) essas litologias compõem o Complexo Monteiro, que, por seu comportamento litoestrutural e pelo seu posicionamento no interior de um embasamento remobilizado, encontra-se, na coluna estratigráfica da região, no Pré-Cambriano Médio, tendo sido retrabalhado no Evento Brasiliano. Seu contato com as rochas do Complexo Presidente Juscelino se dá pelo Lineamento de Pernambuco, e, em locais onde houve uma pediplanação muito acentuada dessas rochas gnáissicas, afloram os migmatitos deste complexo. Os contatos das litologias do Complexo Monteiro com as rochas do Grupo Salgueiro-Cachoeirinha ocorrem por falhas ou então de maneira brusca, porém sem falhamentos.

O Grupo Salgueiro-Cachoeirinha é composto basicamente por rochas xistosas, entre elas: quartzo-biotita e/ou muscovita xistos freqüentemente granatíferos, estaurolita-mica xistos granatíferos, xistos feldspáticos e/ou gnaissificados, metamafitos, biotita e/ou muscovita gnaisses às vezes granatíferos, etc. Na porção norte da área de estudo também ocorrem, posicionados nesta unidade, filitos cinza a cinza-esverdeados, ardósias cinza, metassiltitos, intercalações de quartzitos, rochas calcossilicatadas, calcários metamórficos e metavulcânicas às vezes xistificadas, além dos xistos que ocorrem na parte sul deste Complexo. Essa unidade foi posicionada, geocronologicamente, no Pré-Cambriano Médio, apesar de serem comuns, na área, fenômenos de rejuvenescimento do Ciclo Brasiliano.

Também ocorrem, nessa região e próximo ao Lineamento de Pernambuco, granitos/granitóides intrusivos pertencentes à Suíte Granítóide Tipo Pedra-Mata Grande, que provocam “cozimento” (metamorfismo termal de contato) nas rochas encaixantes. Essa unidade é composta por granitóides diversos e granitos porfiróides a biotita e/ou hornblenda, com remanescentes gnáissicos migmatizados e com freqüente ocorrência de dioritos. Os granitóides Tipo Pedra-Mata Grande são rochas sin a tarditectônicas, correspondendo a produtos de anatexia de suas encaixantes, e são posicionados no Pré-Cambriano Superior.

A Suíte Intrusiva Serra da Aldeia, posicionada no Eocambriano, é uma associação granitogênica de caráter anorogênico que comprehende, principalmente, cúpulas de granitos alcalinos intrudidos nos xistos metassedimentares (Grupo Salgueiro-Cachoeirinha), e é composta por hornblenda e/ou biotita granitos, aegirina riebeckita granitos, granodioritos e

hastingsita granitos, rochas nas quais podem estar presentes estruturas do tipo rapakivi. Os corpos intrusivos possuem dimensões variáveis, desde *stocks* até sub-batolíticas a batolíticas.

Próximo à localidade de Pena Forte ocorrem os arenitos grosseiros e conglomerados da Formação Cariri, que foi posicionada no Siluro-Devoniano. Essas rochas podem apresentar, localmente, estratificações cruzadas.

Localmente ocorrem coberturas tércio-quaternárias, compostas basicamente por arenitos imaturos texturalmente, eventualmente limonitzados em superfície (RADAMBRASIL, op. cit.).

### 3.2. Segundo Sistema de Adução

Na porção abrangida pelo presente projeto, o canal desse sistema passa basicamente por uma seqüência mista areno-argilosa que corresponde aos sedimentos cretáceos da bacia Tucano-Jatobá (mais precisamente, Jatobá). Essas litologias englobam os sedimentos do Grupo Santo Amaro, o qual possui duas formações (que não foram diferenciadas no mapa), Itaparica e Candeias, e também da Formação Marizal, mais recente (RADAMBRASIL, op. cit.). A Formação Itaparica, que ocorre na base do grupo, é composta, na sua porção inferior, por siltitos e folhelhos marrom-avermelhados a esverdeados, e, no topo por arenitos de granulometria média e coloração amarela, todo o conjunto exibindo fortes estratificações cruzadas. Ocorrem fósseis de ostracodes, que auxiliaram na atribuição da idade Neocomiana (Eocretácea) a essa formação.

A Formação Candeias é basicamente composta por intercalações de arenitos e folhelhos, sendo que os folhelhos podem apresentar-se com coloração cinza-esverdeada a vermelha, com finas intercalações de calcários impuros e nódulos carbonáticos. Os corpos arenosos possuem coloração variando de cinza-amarelado a amarelo avermelhado, granulometria média a fina que pode apresentar-se, localmente (principalmente no topo), grossa, com quantidades variáveis de matriz. Os folhelhos são abundantemente fossilíferos, e os calcários e arenitos calcíferos apresentam grande quantidade de fragmentos de ossos, dentes de peixes e crocodilianos, restos de plantas e troncos silicificados de árvores de grande porte, além de ostracodes, os quais, bem conhecidos, ajudam a determinar uma idade também Neocomiana para essa formação.

A Formação Marizal é composta, basicamente, por conglomerados grosseiros, polimíticos, com clastos de gnaisse, quartzito e argila, que ocorrem em sua porção basal, sotopostos a arenitos amarelos a castanhos com "spots" de caulim, de granulometria média a grossa que gradam, verticalmente, para arenitos conglomeráticos com seixos arredondados de quartzo, sobre os quais está depositado arenito fino, micáceo, com

estratificações cruzadas de médio a pequeno portes. Ocorre, mais a norte, uma intercalação de carbonatos cinza a pretos e sílex listrado. A análise palinológica em siltitos indicou idade Alboaptiana para esses sedimentos, que recobrem as unidades Neocomianas descritas anteriormente.

No final do trecho estudado por esse projeto podem ocorrer coberturas detriticas, classificadas pelo RADAMBRASIL (op. cit.) como tércio-quaternárias. Essas coberturas estão geneticamente relacionadas aos ciclos deplainamento Velhas e Paraguaçu, recobrindo, na área de estudo, os sedimentos mesozóicos da bacia Tucano-Jatobá. Essas coberturas detriticas podem apresentar-se essencialmente arenosas com grãos subarredondados e mal consolidadas; como uma espessa camada síltico argilosa pulvurulenta de cor amarela ou avermelhada; como "manchas" de sedimentos clásticos areno-argilosos, inconsolidados e mal-selecionados, eventualmente limonitzados; ou então, são arenosos e argilosos, com variedades ferruginosas, de granulação fina a média, esporadicamente cobertos por cascalheiras.

#### 4. Caracterização Geológico-Geotécnica dos Maciços Quanto à Escavabilidade

As investigações geofísicas, realizadas apenas em alguns pontos dos traçados dos canais, permitem uma caracterização mais precisa dos materiais e de suas espessuras, sendo que, nos locais onde elas não foram realizadas, essa classificação baseou-se exclusivamente em observações de campo e em informações fornecidas por moradores da região sobre a escavação de cacimbas e poços tubulares profundos.

No primeiro sistema de adução foram executadas doze seções geofísicas, todas na porção inicial do traçado, nos seus primeiros 1150 m. No segundo sistema de adução foram executadas quinze seções geofísicas, na região de tomada d'água e da estação elevatória 3.

O arranjo e o comprimento das bases sísmicas foram definidos no campo, em função das condições locais, tendo-se adotado o comprimento de 75 m para cada base sísmica com impacto de martelo, com geofones espaçados de 5 m e pontos de impacto nos geofones um menos 10 metros, um, cinco, oito, doze e doze mais 10 m. A localização e amarração das bases sísmicas foram feitas com a utilização do equipamento GPS.

No processo de interpretação dos dados sísmicos a empresa contratada adotou a seguinte sistemática:

- revelação cuidadosa dos filmes foto sensíveis à luz branca;
- verificação da qualidade dos registros sísmicos e da legibilidade do sinal de chegada das ondas;
- leitura do tempo de chegada da onda em cada um dos canais de geofones a partir do ponto de impacto;
- confecção dos gráficos dromocrônicos e análise dos dados obtidos;
- cálculo das espessuras dos solos pelo método “*Delay Time*” desenvolvido por Bruce B. Redpath e publicado no “*Seismic Refraction for Engineering Site Investigation*” (1973, in: Masuda & Bartorelli, op. cit.).

##### 4.1. Primeiro Sistema de Adução

A porção inicial desse sistema de adução, sai da planície aluvionar do Rio São Francisco, nas coordenadas UTM aproximadas N 9055500 e E 449800 (vide Anexos 9 e 10), e segue, até próximo à estaca E90, sobre os sedimentos aluvionares, para os quais a sísmica de refração indicou espessuras inferiores a 6,4 m e velocidades entre 364 e 670 m/s, sendo eles facilmente escaváveis com equipamentos de terraplenagem comuns

(material de 1<sup>a</sup> categoria). Abaixo dessa camada, o topo rochoso apresentou velocidades da ordem de 2536 a 4770 m/s, material de 3<sup>a</sup> categoria, escavável a fogo.

A partir de então o canal entra no domínio de rochas migmatíticas/gnáissicas proterozóicas, que desenvolvem, em geral, uma pouco espessa cobertura de solo residual/coluvial, a qual apresentou espessuras variáveis, sendo as máximas de 3,2 m, e velocidades sísmicas entre 417 e 698 m/s. Abaixo desse solo a sísmica de refração detectou uma camada com espessura variando entre 1,7 e 11,6 m e velocidades sísmicas entre 937 e 1429 m/s, provavelmente de solo saprolítico. Essas velocidades indicam que esse material é escavável com a utilização de equipamento de terraplenagem de grande porte (material de 1<sup>a</sup> categoria). O topo rochoso apresenta-se com profundidades variando entre 3,9 a 11,7 m e velocidades sísmicas entre 2877 a 4473 m/s (material de 3<sup>a</sup> categoria), sendo escavável a fogo.

Nos morros formados por essas rochas migmatíticas/gnáissicas, forma-se, devido à alteração dessas rochas, uma camada de blocos centimétricos a decimétricos (que podem ser observados na foto 1 - Anexo 8), o que impossibilitou a instalação de geofones para a determinação da espessura dessa camada de tálus.

No ponto IB-6 (foto 2 - Anexo 8), foi observado um afloramento de rocha semi-alterada (material de 3<sup>a</sup> categoria), mostrando intercalações decimétricas entre o leucossoma (quartzo-feldspático) e o mesossoma (quartzo mica xisto). A maioria dos blocos presentes é quartzo-feldspática. Na foto 3 (Anexo 8), ponto IB-11, pode-se observar o migmatito (material de 3<sup>a</sup> categoria) com clara distinção entre o leucossoma (que aqui apresenta concentrações localizadas de mica) e o mesossoma (que possui granadas milimétricas).

O saprolito de migmatito (material de 2<sup>a</sup> categoria), que aflora próximo às estacas E14+000 e E15+000, apresenta-se, no ponto IB-19 por exemplo, bastante fraturado, com 10 a 15 fraturas por metro no mesossoma e 20 a 30 fraturas por metro no leucossoma, que pertencem a dois sistemas distintos de fraturamento (foto 4 - Anexo 8), com direções principais N5W/subvertical (maior freqüência) e N60E/subvertical (menor freqüência).

A partir da estaca aproximada E17+200 o canal entra no domínio dos granitóides proterozóicos, os quais encontram-se freqüentemente migmatizados. São formados por rochas gnáissicas que variam de homogêneas a eventualmente heterogêneas. No ponto 33 ocorre augen-gnaisse homogêneo de coloração cinza (foto 5 – Anexo 8), são (material de 3<sup>a</sup> categoria), com veios de quartzo localmente dobrados, com três sistemas principais de fraturamento, sempre com percolação ferruginosa e eventualmente com aberturas milimétricas, quais sejam: N45E/vertical, paralelo à foliação; N40W/vertical, ortogonal à foliação; e N25E/vertical, oblíquo à foliação (observar que esses sistemas de fraturamento,

se bastante persistentes e pouco espaçados, podem permitir a escarificação desse material). Nessa litologia desenvolve-se uma cobertura de solo bastante delgada, de aproximadamente 0,5 m de espessura (material de 1<sup>a</sup> categoria), com a ocorrência localizada de matacões granítóides, o que dificulta a escavação, tornando esses solos de 3<sup>a</sup> categoria.

Na região afetada pelo Lineamento de Pernambuco ocorrem rochas gnáissicas/migmatíticas milonitzadas, que desenvolvem cobertura de solo/detrítica (material de 1<sup>a</sup> categoria) pouco espessa, com média de 0,5 m de espessura, diretamente assente sobre a rocha sã.

No domínio dos xistos proterozóicos, o qual é adentrado pelo canal a partir da estaca E42+900, formado basicamente por quartzo-mica xistos e xistos feldspáticos, é representado, nessa região, por quartzo mica xistos de coloração acinzentada, foto 6 – Anexo 8 (material de 3<sup>a</sup> categoria), com xistosidade bastante pronunciada e ocorrência de veios de quartzo descontínuos, oblíquos à foliação.

Essas rochas desenvolvem cobertura de solo saprolítico, foto 7 (Anexo 8), (material de 1<sup>a</sup> categoria) variando de 1 a 1,5 m de espessura (chegando, nas regiões mais próximas aos arenitos paleozóicos, a 2,5 m de espessura), como pode ser observado na foto 8 (Anexo 8), tirada no ponto IB-98 onde foram escavadas grandes trincheiras para a exploração de ouro (segundo informações de moradores locais), onde está exposto o saprolito de mica xisto sob uma camada de aproximadamente 1 m de solo saprolítico de mica xisto coberta por solo residual.

Essa camada de solo saprolítico está assente sobre saprolito de micaxisto (material de 2<sup>a</sup> categoria), cuja espessura pode variar de 2 a 3 m. Na foto 9 (Anexo 8), tirada no ponto IB-83, pode-se observar saprolito de quartzo-sericita xisto (material de 2<sup>a</sup> categoria) que desplaca a golpes de martelo. Abaixo do saprolito de micaxisto ocorre o micaxisto são (material de 3<sup>a</sup> categoria), o qual foi observado em alguns afloramentos.

Nas estacas E51+600 a E64+900, E72+000 a E73+400, E78+100 a E84+500, E100+000 a E109+700 e E117+400 a E121+400 ocorrem intrusões de granitos proterozóicos (entre as estacas E85+500 e E92+900 o canal passa, seguidamente, pelas duas litologias, chegando a passar, em um bom trecho, no contato entre elas). O canal corta os xistos proterozóicos até a estaca E139+800, quando passam a ocorrer os arenitos paleozóicos.

Essas rochas graníticas apresentam, geralmente, coloração cinza clara a rósea, são equigranulares de granulação grosseira (foto 10 – Anexo 8), e, normalmente não desenvolvem cobertura de solo (quando existe, a espessura dessa camada de solo não ultrapassa 0,8 m, possuindo muitos matacões intercalados, o que a torna matéria de 3<sup>a</sup>

categoria). Ocorrem, também, matações em superfície, como pode ser observado na foto 11 (Anexo 8). Eventualmente pode-se observar metamorfismo de contato nos xistos, causado pela intrusão dos granitos, onde eles aparecem bastante duros, litificados.

Na região onde ocorrem os arenitos paleozóicos normalmente não ocorrem afloramentos de rocha. O solo (material de 1<sup>a</sup> categoria) é arenoso fino com argila, de cor marrom avermelhada (na foto 12 – Anexo 8 - pode-se observar o aspecto do solo residual de arenito). Sobre essas litologias, diferentemente das outras encontradas anteriormente, o relevo fica extremamente aplainado, sem morros ou elevações expressivas. Esses solos chegam a alcançar 10 m de profundidade, estando assentes sobre saprolito de arenito (material de 2<sup>a</sup> categoria) ou arenito arcoseano são (material de 3<sup>a</sup> categoria). Segundo informações de moradores locais, a espessura de solo e arenitos sobre os quartzo mica xistos varia de 15 a 50 m.

#### 4.2. Segundo Sistema de Adução

Ocorrem, na região, arenitos cenozóicos, dos quais praticamente não existem afloramentos rochosos. No local da tomada d'água (próximo à estaca E2+000, Anexo 11) a sísmica de refração identificou dois horizontes distintos, um deles com velocidades variando entre 378 e 533 m/s e espessuras entre 0,8 a 9,6 m, que corresponde a um solo residual de arenito (material de 1<sup>a</sup> categoria), escavável com equipamentos comuns de terraplenagem, que apresenta-se areno-argiloso, de granulometria fina, com coloração marrom-avermelhada a bege (fotos 13 e 14 – Anexo 8) e alguns seixos de quartzo.

O segundo horizonte possui velocidades de ondas sísmicas variando entre 680 e 1110 m/s (material de 1<sup>a</sup> a 2<sup>a</sup> categoria – plenamente escarificável), com espessura variando entre 11 a 23 m, provavelmente correspondendo a um solo saprolítico/saprolito de arenito. O topo rochoso apresentou-se com velocidades variando entre 2117 e 3310 m/s e profundidades variando entre 14,4 e 25 m, provavelmente correspondendo às rochas sedimentares mesozóicas sás (material de 3<sup>a</sup> categoria – necessidade de fogo ou fogacho para o seu desmonte).

Já no final do trecho estudado nesse trabalho de formatura (estaca E47+000) ocorrem também as rochas sedimentares mesozóicas, que estão em contato (por falhamento) com rochas migmatíticas proterozóicas. Foram efetuados perfis sísmicos nas duas unidades litológicas, sendo que nas rochas sedimentares foram verificados dois horizontes distintos, o primeiro com velocidades entre 424 e 489 m/s e espessuras entre 6,9 e 8 m, correspondendo a solo residual/coluvial de arenito, fino a médio, com argila, e com clastos até decimétricos, arredondados, de quartzo e arenito (material de 1<sup>a</sup> categoria, escavável com equipamentos comuns de terraplenagem).

O segundo horizonte apresentou velocidades sísmicas variando entre 940 e 1250 m/s e espessuras entre 11,9 e 23,6 m, correspondendo a material de 1<sup>a</sup> a 2<sup>a</sup> categorias, plenamente escarificáveis, provavelmente solo saprolítico/saprolito de arenito. O topo rochoso apresentou-se com velocidades sísmicas variando entre 3258 a 3310 m/s e profundidades entre 18,8 a 30,5 m, correspondendo a arenito são (material de 3<sup>a</sup> categoria para escavação).

Na segunda unidade litológica, migmatitos proterozóicos, também foram identificados dois horizontes sísmicos distintos. O primeiro deles apresentou velocidades entre 436 e 655 m/s e espessuras variando entre 1,5 a 5,5 m. Corresponde, provavelmente, a solo coluvial/residual de migmatito, material de primeira categoria, escavável com equipamento comum de terraplenagem. O segundo horizonte apresentou velocidades entre 1073 e 1373 m/s e espessuras entre 5,8 e 16,4 m. Provavelmente corresponde a saprolito de migmatito, material de segunda categoria, plenamente escarificável. O topo rochoso apresentou-se a profundidades variáveis entre 9,4 e 16,8 m, com velocidades de ondas sísmicas variando entre 2482 e 3610 m/s, correspondendo, provavelmente, à rocha sã que, devido às baixas velocidades, deve apresentar diversas descontinuidades. Corresponde, provavelmente, a material de 3<sup>a</sup> categoria (escavável a fogo). Ocorrem esparsos blocos de arenito arcoseano são, dispersos no solo coluvial (foto 15 – Anexo 8).

## 5. Estimativa de Volumes

No presente trabalho foi adotado, para efeito de dimensionamento preliminar dos materiais, um canal com vazão de  $65 \text{ m}^3/\text{s}$  e velocidade de  $1 \text{ m/s}$ , possuindo a seguinte seção hipotética:

- Largura de fundo:  $5 \text{ m}$ ;
- Taludes da seção “molhada”:  $1,5 \text{ H} : 1 \text{ V}$ ;
- Taludes da seção “seca” (cortes e aterro):
  - solo (material de 1<sup>a</sup> categoria):  $1,5 \text{ H} : 1 \text{ V}$ ;
  - saprolito (material de 2<sup>a</sup> categoria):  $1 \text{ H} : 2 \text{ V}$ ;
  - rocha (material de 3<sup>a</sup> categoria):  $1 \text{ H} : 4 \text{ V}$ .
- Bermas de três metros acima da seção “molhada”;
- Bermas de dois metros a cada dez metros de corte.

Foram efetuadas diversas seções transversais representativas para determinados trechos do canal (algumas das quais estão representadas no Anexo 12) nas quais foram calculadas as áreas ocupadas pelos diferentes materiais a serem escavados. Essas seções foram desenhadas, a partir dos dados obtidos com a caracterização dos materiais, com a utilização do programa AutoCad, sendo que as áreas ocupadas por cada tipo de material em cada seção também foram calculadas com o auxílio desse programa. Os valores de área, obtidos para cada tipo de material nas seções individuais, foram multiplicados pela média entre seus vizinhos e, de posse desses valores, foi elaborada a Tabela 5, onde são calculados os volumes totais para cada material a ser escavado.

Estaca	Área por Categoria de Material Para Cada Seção		Extensão do Trecho (m)	Volume por Trecho: Material de 1 <sup>a</sup> ( $\text{m}^3$ )	Volume por Trecho: Material de 3 <sup>a</sup> ( $\text{m}^3$ )
	1 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>			
0+100	204,75	62,35	200	40950	12470
0+400	198,347	76,909	400	79338,8	30763,6
0+700	259,98	297,42	200	51996	59484
1+100	174,155	48,501	1400	243817	67901,4
2+300	506,656	232,924	200	101331,2	46584,8
3+900	14,611	76,69	500	7305,5	38345
5+300	7,895	44,08	1600	12632	70528
6+200	25,824	289,671	500	12912	144835,5
6+500	16,839	281,925	400	6735,6	112770
7+100	7,33	28,08	200	1466	5616
8+200	37,674	266,571	1200	45208,8	319885,2
9+100	7,264	28,002	1600	11622,4	44803,2
11+000	11,035	41,005	500	5517,5	20502,5
11+700	8,045	34,947	500	4022,5	17473,5
13+000	5,512	18,579	1000	5512	18579
13+300	23,688	183,02	500	11844	91510
14+000	24,725	68,088	400	9890	27235,2
14+900	8,169	38,714	800	6535,2	30971,2
Volumes Totais Para Cada Categoria de Material:				658636,5	1160258,1

Tabela 5: Volumes a serem escavados.

As áreas para cada categoria de material por seção foram calculados no programa AutoCad, e os volumes totais por tipo de material foram calculados através do programa Excel.

O volume de aterro necessário para a implantação desses quinze quilômetros iniciais de canal foi estimado, através de cálculos efetuados no programa AutoCad, em 422.887,6 m<sup>3</sup>, o que torna a utilização dos materiais escavados na conformação de aterros uma alternativa extremamente importante, diminuindo-se, deste modo, os problemas com identificação de áreas de empréstimo e de "bota-fora". Para tal é necessário que se faça uma caracterização das propriedades desses materiais com vistas à sua utilização para este fim.

Na elaboração do traçado dos canais considerou-se, para efeitos de otimização desses traçados, que seria econômica a execução de cortes com no máximo vinte metros de altura. Em locais onde fossem necessários cortes maiores que esses, considerou-se a escavação de túneis. No trecho para o qual foi calculado o volume de material a ser escavado não ocorreram cortes de mais de vinte metros de altura, mas o método para o cálculo dos materiais a serem escavados em túneis seria o mesmo, com a determinação de seções representativas para as quais seria calculada a área de cada material, e esse valor seria interpolado para todo o trecho.

Foram obtidas estimativas de 658.636,5 m<sup>3</sup> para o volume de materiais de primeira categoria de escavação, e de 1.160.258,1 m<sup>3</sup> para o volume de materiais de terceira categoria. Como o volume de aterro estimado para a implementação dos primeiros quinze quilômetros de canal é da ordem de em 422.887,6 m<sup>3</sup>, torna-se importante a caracterização dos materiais a serem escavados com vistas à sua utilização para este fim, o que poderia reduzir em muito os custos de implantação dos canais.

## 6. Conclusões

A caracterização de materiais quanto a sua escavabilidade vem ganhando importância cada vez maior, pois, com o desenvolvimento de novos equipamentos para a escarificação de materiais, muitos materiais para cujo desmonte era necessária a utilização de explosivos, que é um processo caro e demorado, podem ser, atualmente, escarificados, o que provoca uma redução considerável de tempo para a execução de obras civis e, principalmente, de custos.

No presente trabalho foi realizada uma caracterização preliminar dos maciços envolvidos, compatível com estudos de pré-viabilidade de um projeto. Verificou-se que estas estimativas de volumes de materiais a serem escavados, em estudo de pré-viabilidade, são um tanto quanto imprecisas, em função da escala em que foram coletados os dados de campo e do próprio escopo dos trabalhos de pré-viabilidade. Para a fase de projeto básico serão necessárias investigações de campo mais detalhadas, que possibilitem a elaboração de perfis e seções transversais mais precisos.

É recomendável, quando de uma fase em que estudos mais detalhados sejam necessários, que sejam realizadas sondagens a percussão e rotativas; ensaios de compressão uniaxial e triaxial de amostras (que fornecerão índices de resistência da rocha); seja feita uma consciente avaliação estrutural desses maciços, com determinação de rugosidade, preenchimento, abertura e persistência, entre outros fatores, das famílias de descontinuidades presentes nos maciços, pois esses são alguns dos parâmetros básicos necessários a uma boa classificação de maciços quanto a sua escavabilidade.

A aplicação desses parâmetros delimita faixas de valores de resistência da rocha, possibilitando a determinação do método de desmonte para cada uma dessas faixas. Apesar disso, sempre existem intervalos onde a aplicação de escarificadores ou de explosivos é indeterminada. Nesses casos, o ideal é que se faça uma praça piloto de escavação, para que o maciço seja avaliado frente à aplicação dos diversos métodos de escavação.

A determinação precisa das características do maciço também possibilita uma avaliação desse material com vistas à sua utilização como aterro, que é necessário nas mais diversas obras civis e que dependendo de fatores como distância de áreas de empréstimo e recuperação de áreas degradadas, entre outros, também pode reduzir bastante os custos de uma obra civil.

Foram obtidas estimativas de 658.636,5 m<sup>3</sup> para o volume de materiais de primeira categoria de escavação, e de 1.160.258,1 m<sup>3</sup> para o volume de materiais de terceira categoria. Como o volume de aterro estimado para a implementação dos primeiros quinze

quilômetros de canal é da ordem de em 422.887,6 m<sup>3</sup>, torna-se importante a alternativa de sua utilização para este fim, o que poderia reduzir em muito os custos de implantação dos canais.

Fonte: Projeto de Estudo para a Implantação de Canal para a Bacia do Rio Grande. Rio Grande, 1998. 100p.

Fonte: Projeto de Estudo para a Implantação de Canal para a Bacia do Rio Grande. Rio Grande, 1998. 100p.

Fonte: Projeto de Estudo para a Implantação de Canal para a Bacia do Rio Grande. Rio Grande, 1998. 100p.

Fonte: Projeto de Estudo para a Implantação de Canal para a Bacia do Rio Grande. Rio Grande, 1998. 100p.

RODRIGUES, A. (1997). Estudos Geológicos em Minas Gerais - Dados da Repartição Geológico-Geofísica da Companhia Vale do Rio Doce. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce.

RODRIGUES, M. & GARCIA-FILHO, A. (1997). Transformação das Águas do Rio São Francisco Para o Mar do Sul do Atlântico - Águas Subterrâneas Geotáticas - Sistemas de Trifágico. Rio de Janeiro: MCT, publicação nº 42.

RODRIGUES, H.C.; GARCIA-FILHO, A.P.P.; MESQUITA, J.R. (1997). Aquecimento Global da Atmosfera - Ambiente de Referência. Rio: Comissão de Política Científica NACIONAL DE DESCOBRIMENTOS E INVENÇÕES, 22, p. 140-150.

RODRIGUES, MATTOS, M. D. (1998). Descrição das Águas Subterrâneas do Rio São Francisco e sua Importância da Bacia do Rio São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDOS, 8, Rio Grande, 1998. Rio Grande, 1998. Rio Grande, 1998, p. 3549.

OLIVEIRA, E. B.P.M.; RODRIGUES, M.A. (1997). Monitoramento Geotático. Rio: Comissão de Política Científica NACIONAL DE DESCOBRIMENTOS E INVENÇÕES, 22, Rio Grande, 1997.

## 7. Referências Bibliográficas

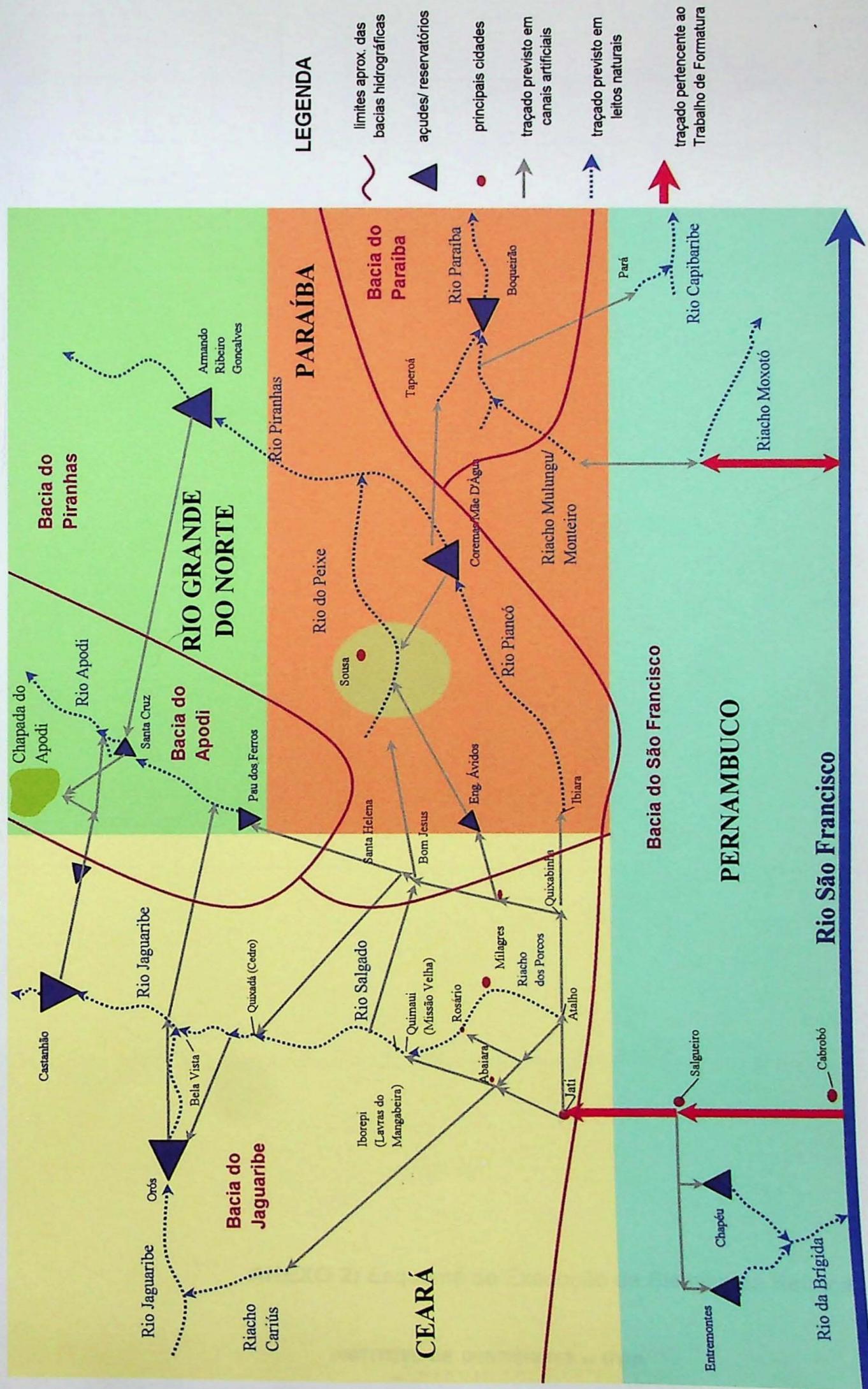
- ARAGÃO, C.J.G.; SOUZA, R.J.B.; SILVA, R.A. (1982). *Utilização de Saprolito de Granito em Núcleo Impermeável de Barragem*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 7., Olinda/Recife, 1982. *Anais*. Olinda/Recife, ABMS, v. 6, p. 313-332.
- BRASIL. CODEVASF (1998). *Empreendimento Terra Nova, Mapa Geológico*. (Escala 1:100.000).
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral - CPRM (1982). *Projeto Mapas Metalogenéticos de Previsão de Recursos Minerais, folhas Salgueiro, Floresta, Patos e Serra Talhada*. (Escala 1:250.000).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral (1983). *Projeto RADAMBRASIL – folha SC. 24/25 Aracaju/Recife*; Mapa geológico. Rio de Janeiro, MME. (Escala 1:1.000.000).
- FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. (1999). *Aterro Experimental de "Random" Grosso*. Furnas Centrais Elétricas S.A. – Divisão de Geotecnica. (Relatório DVGM.005.99-RO, JUNHO/99).
- KOSHIMA, A. (1982). *Estudos Geotécnicos em Materiais Brandos – Caso de um Arenito do Grupo Bauru Cortado por um Canal*. São Paulo, 180p. (Dissertação – Mestrado) – Escola Politécnica – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo.
- MASUDA, K. & BARTORELLI, A. (1999). *Transposição das Águas do Rio São Francisco Para o Nordeste Setentrional – Investigações Geofísicas – Sísmica de Refração*. São Paulo, 19p. (Relatório nº 1).
- MONTI, H.C.; CARVALHO, A.P.F.; MESQUITA, J.B. (199?). *Aproveitamento Múltiplo de Manto – Aplicação de Materiais Não Convencionais*. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 23., p. 145-158.
- NAKAO, H.; MATTAR Jr., D. (1986) *Deformabilidade do Saprolito de Granito do Núcleo Impermeável da Barragem de Itaparica*. In CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 8., Porto Alegre, 1986. *Anais*. Porto Alegre, ABMS, p. 55-64.
- OLIVEIRA, E.B.P.M.; BEZERRA, M.A. (1995). *Manual de Orientação Para Normalização de Referências Bibliográficas*. São Paulo, 12p. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

TAMMERIK, G.R. (1994). *Escarificabilidade de Rochas Brandas*. São Paulo, 114p. (Dissertação – Mestrado) – Escola Politécnica – Departamento de Engenharia Mineral, Universidade de São Paulo.

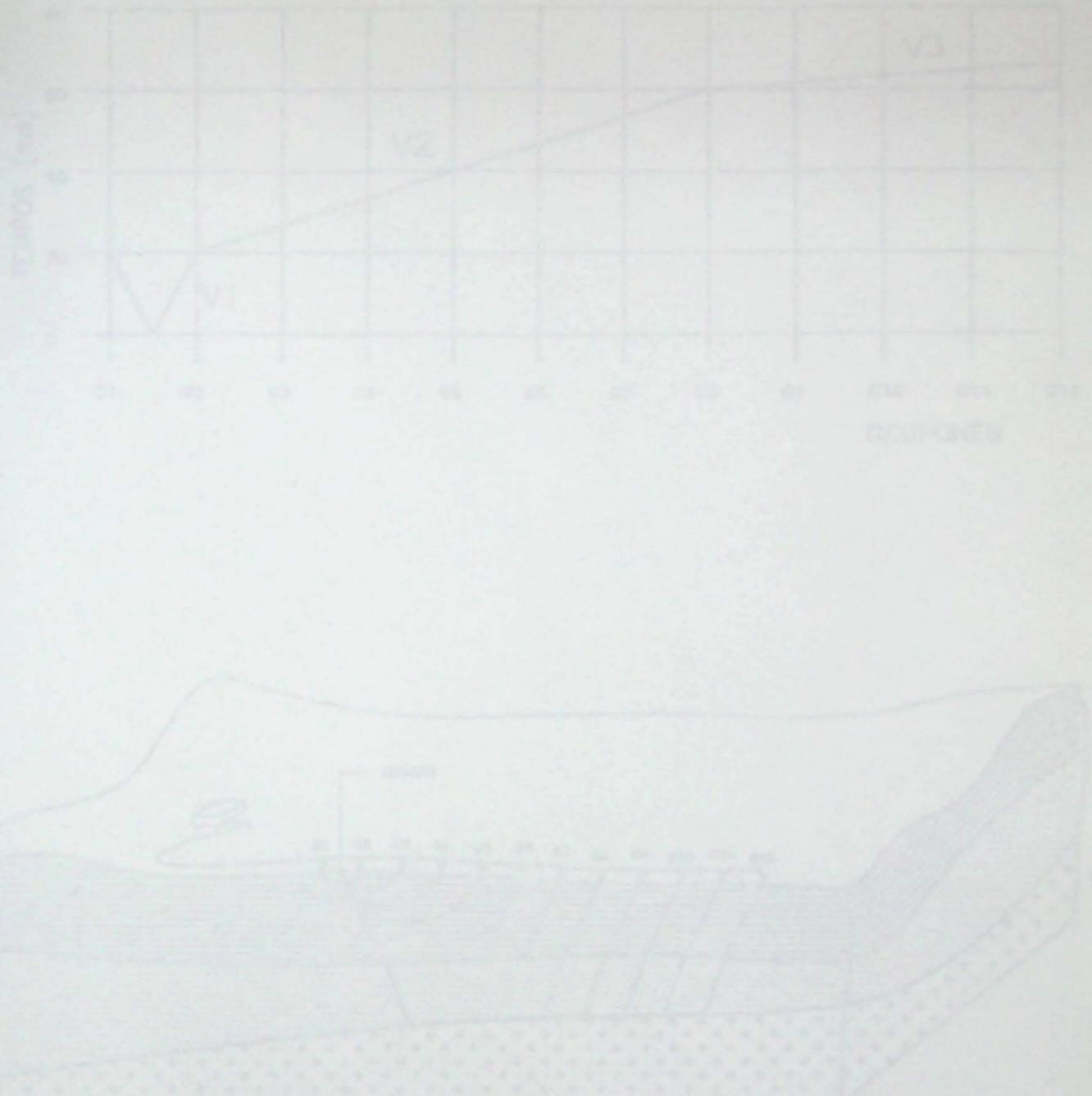
TAMMERIK, G.R.; SOARES, L.; DAMASCENO, E.C. (1994). *Sistema de Classificação de Maciços Quanto à Escarificação*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS, 1., Foz do Iguaçu, 1994. *Anais*. Foz do Iguaçu, ABMS, p. 86-92.

**ANEXO 1: Esquema de Distribuição das Águas da  
Transposição do Rio São Francisco**

**ANEXO 1: Esquema de Distribuição das Águas da Transposição do Rio São Francisco**

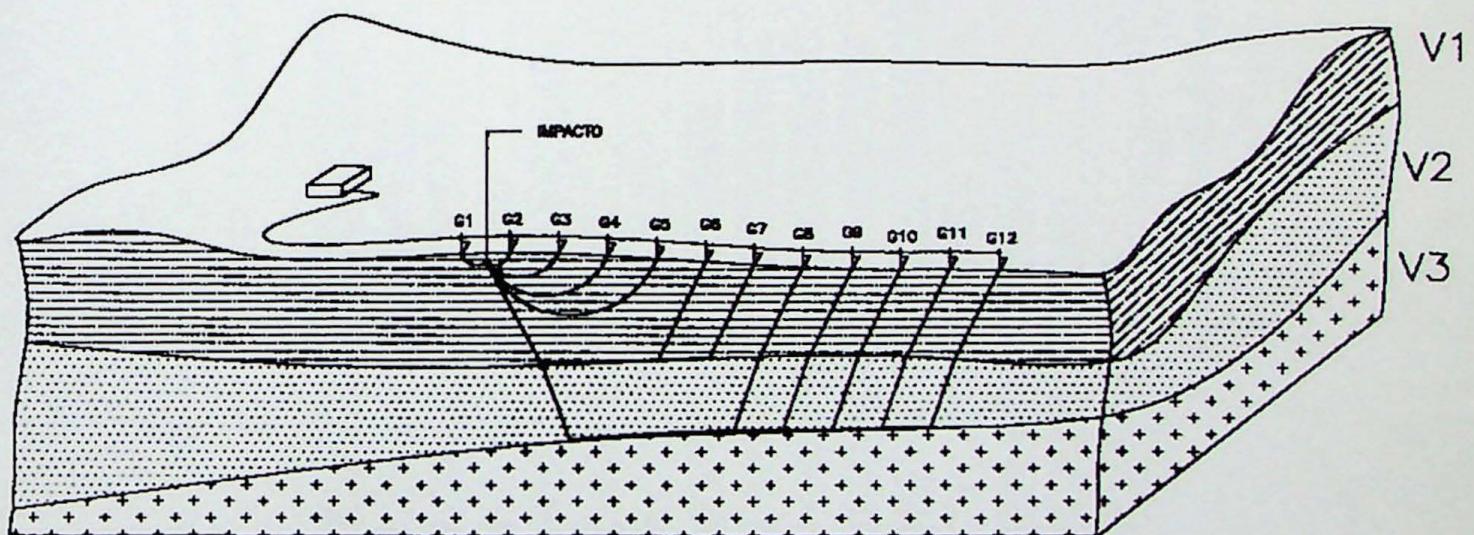
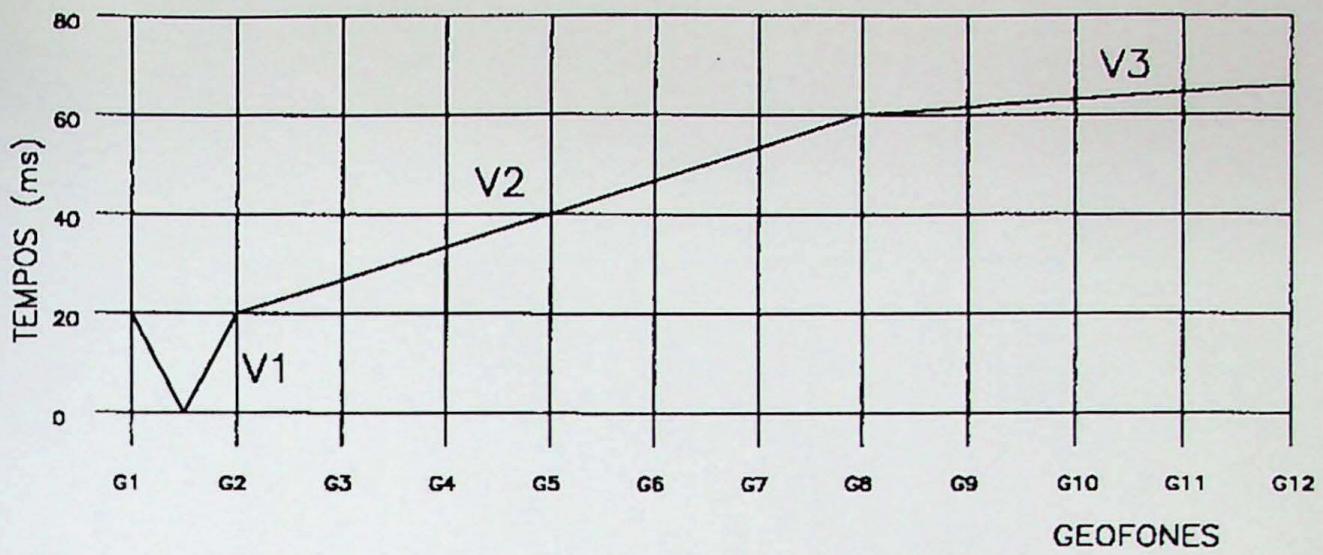


CE2351



ANEXO 2: Esquema de Execução de Sísmica de Refração (Fonte: Instituto de Geociências - USP)

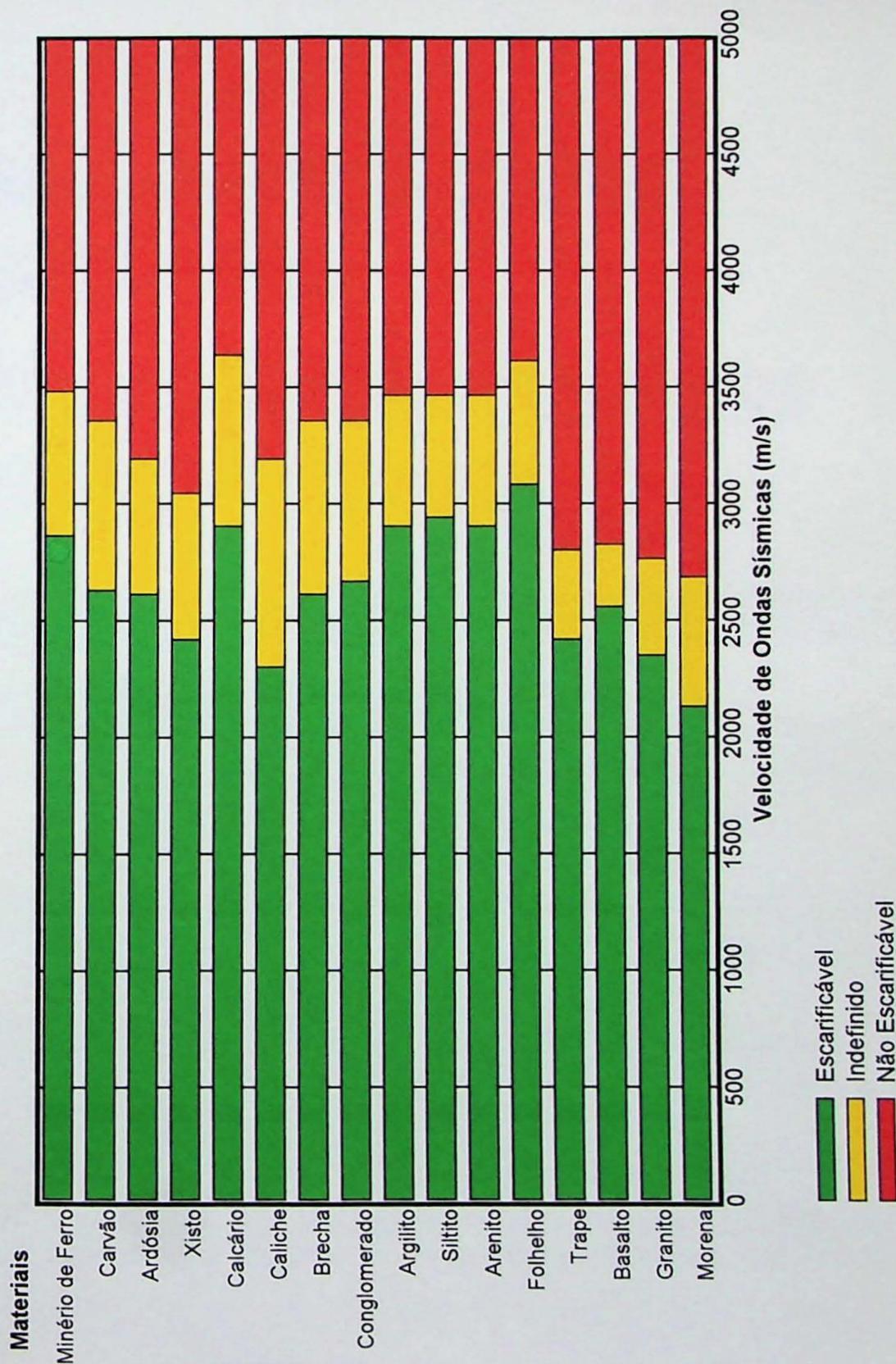
## ANEXO 2: Esquema de Execução de Sísmica de Refração

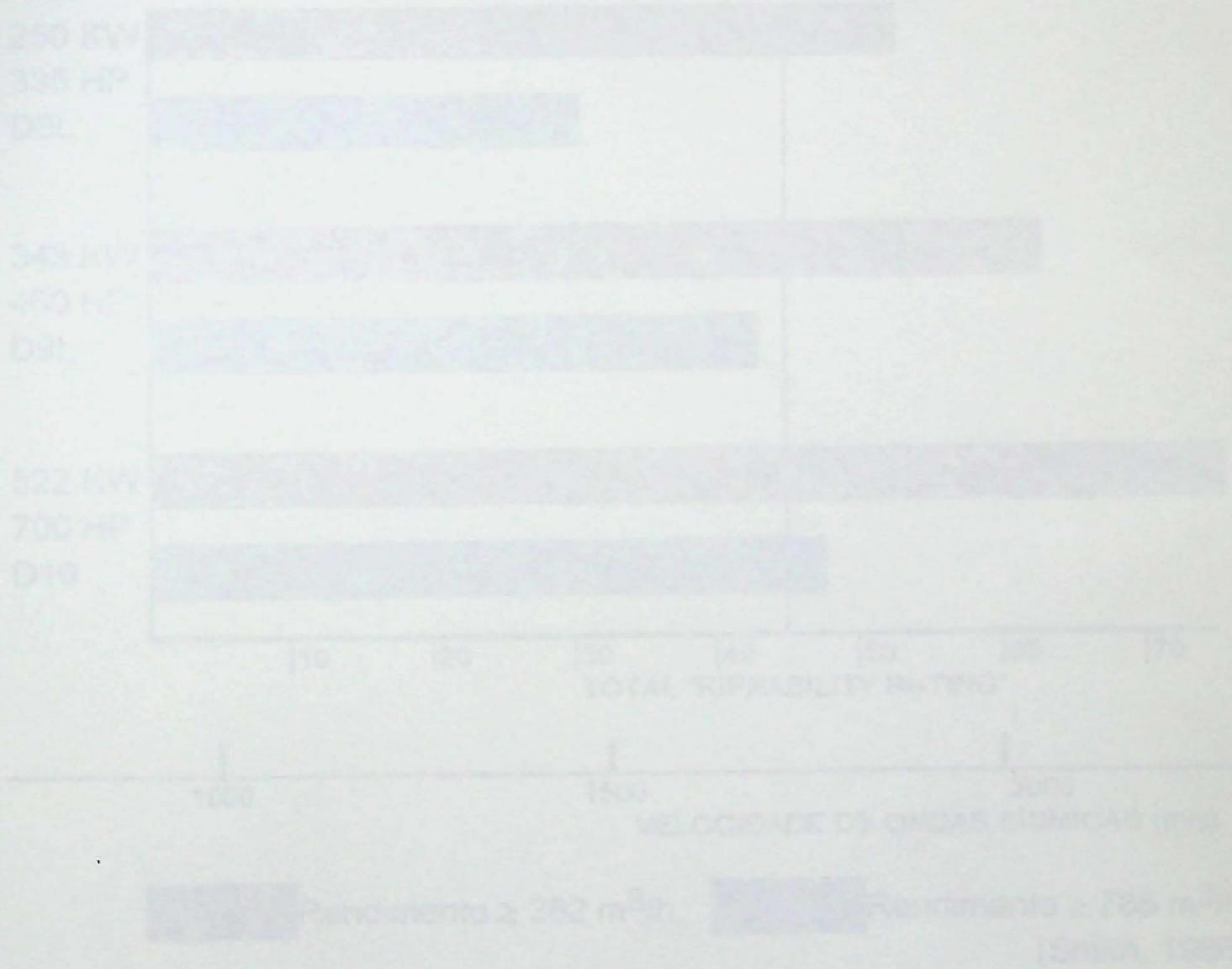


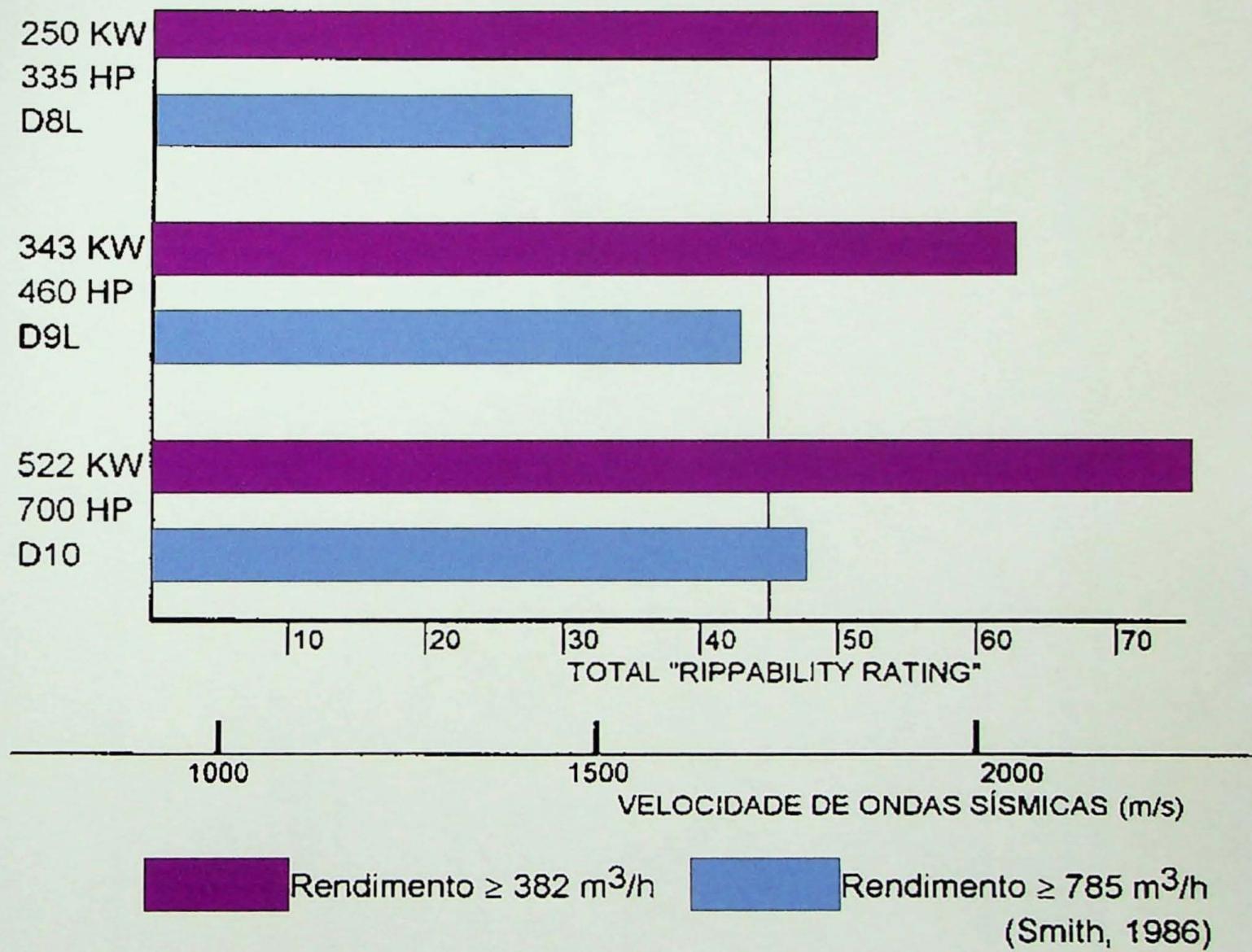
**ANEXO 2:** Esquema de execução de sísmica de refração (extraído de Masuda & Bartorelli, 1999)..

**ANEXO 3: Tabela de Escarificabilidade em Função da  
Velocidade de Ondas Sísmicas**

**Tabela de Escarificabilidade em Função da Velocidade de Ondas Sísmicas**  
 (Calculada para escarificador "Caterpillar D10")

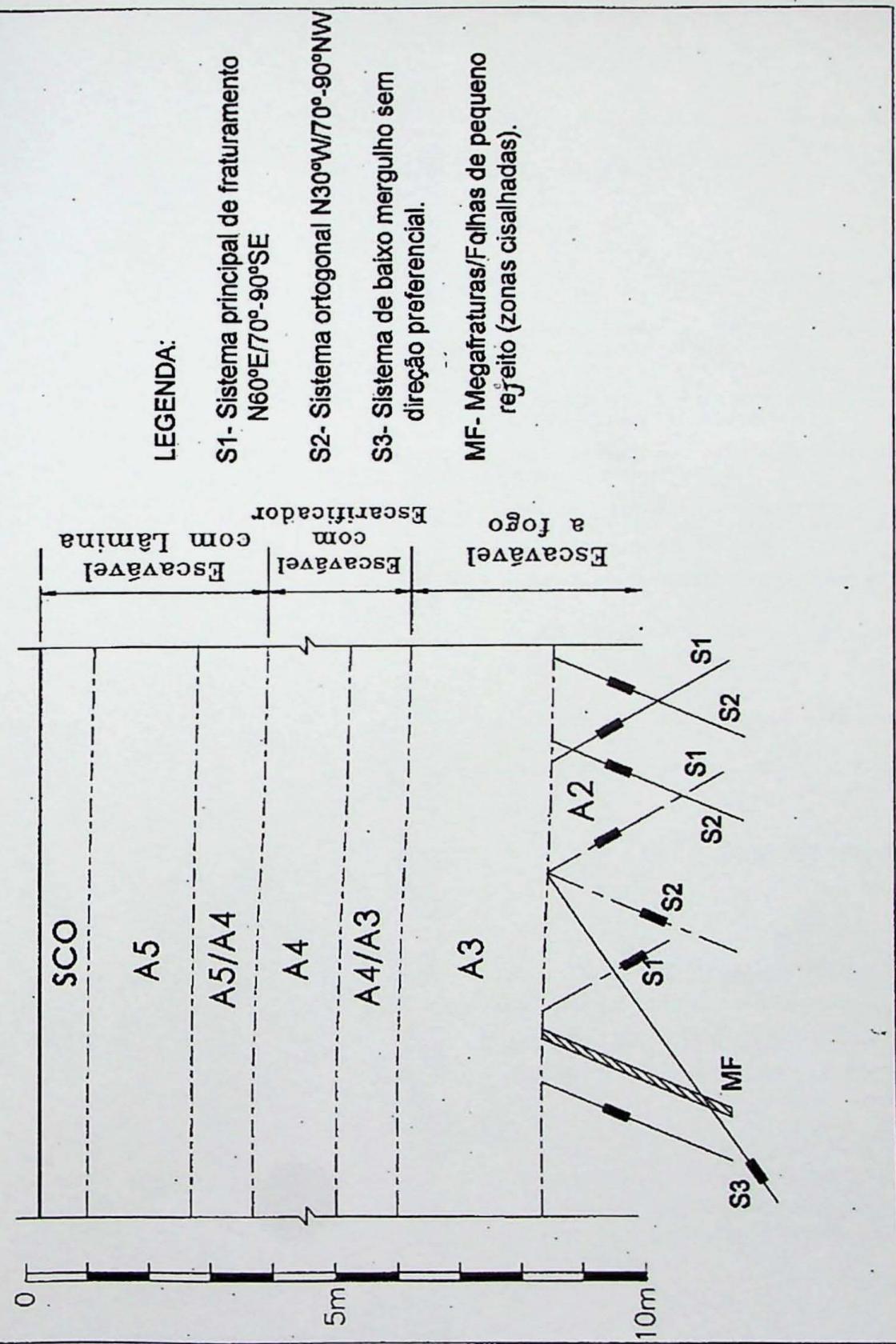






**ANEXO 4:** Correlação entre o “Rippability Rating” (RR), a velocidade de ondas sísmicas e o trator indicado para escarificar o maciço (Extraído de Tammerik, 1994).

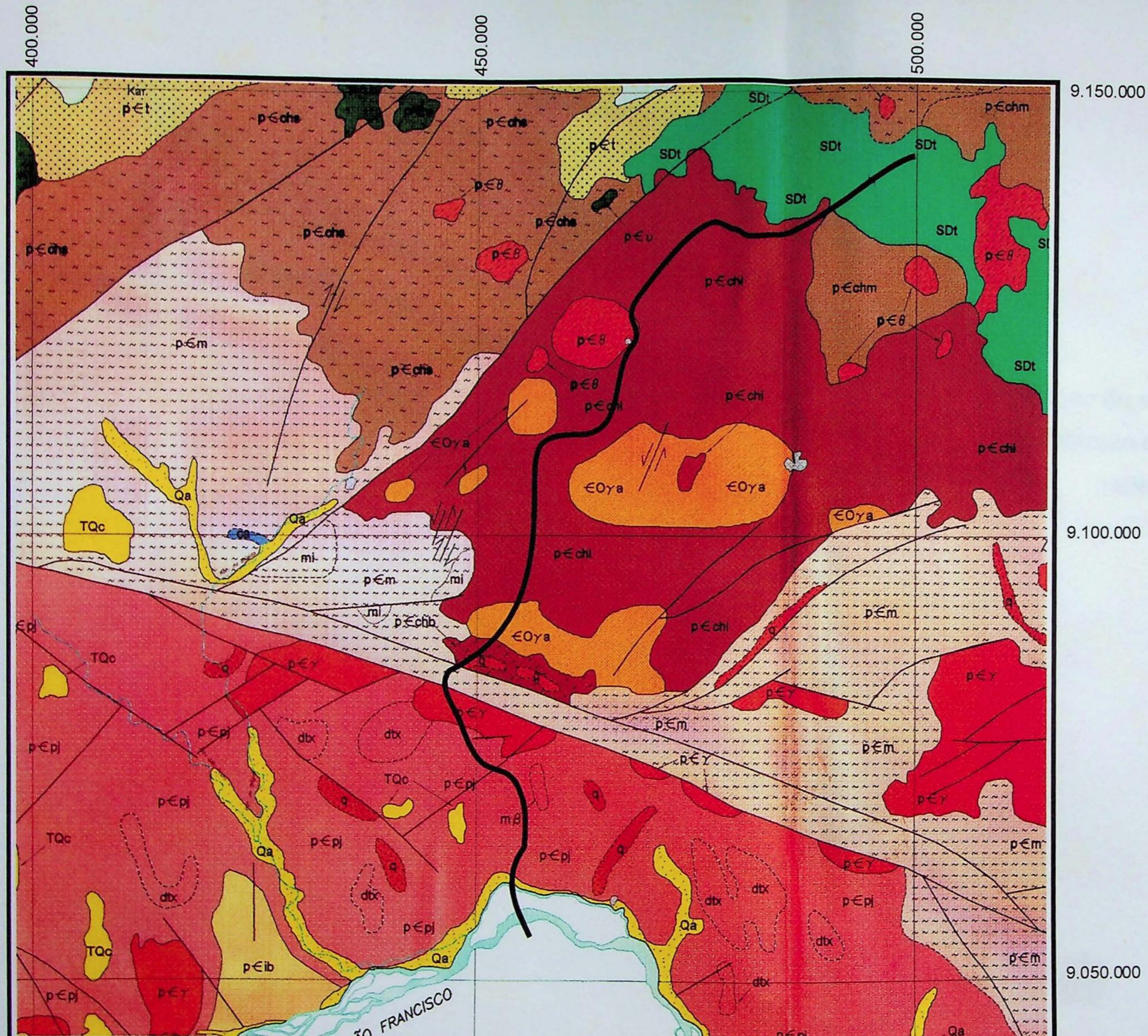
**ANEXO 5:** Perfil Esquemático da Progressão de Alteração de Rocha  
e Sistemas de Fraturamento que Afetam a Rocha Sã.



ANEXO 5: Perfil esquemático da progressão de alteração da rocha e sistemas de fraturamento que afetam a rocha sá (Extraído de Furnas Centrais Elétricas S.A., 1999).



## LEGENDA



- Qa ALUVIÓES : Depósitos inconsolidados constituídos por areias finas a grosseiras , com cascalho e matéria orgânica.
- TQc COBERTURAS COLÚVIO-ELUVIAIS: Areias silticas a argilosas, localmente laterizadas.
- Kar GRUPO ARARIPE INDIVISO: FORMAÇÕES EXU E SANTANA: Arenitos grosseiros, friáveis, por vezes conglomeráticos, com intercalações de calcários laminados, folhelhos e margas betuminosas.
- SDt FORMAÇÃO CARIRI E TARACATU INDIVISAS: Arenitos grosseiros e conglomerados, com lentes de caulim. Presença de estratificações cruzadas.
- hoya SUITE INTRUSIVA SERRA DA ALDEIA: Hornblenda e/ou biotita granitos; granodioritos e hastingsita granitos. Estrutura rapakivi presente.
- hγ SUITE MAGMÁTICA: Granitos porfíriticos com remanescentes de migmatitos.
- hβ SUITE MAGMÁTICA: Granodioritos.
- U SUITE MAGMÁTICA:Ultrabásicas.
- pchs GRUPO CACHOEIRINHA - UNIDADE SUPERIOR: Filitos, xistos e ardósias; intercalações de rochas carbonáticas, meta vulcânicas e quartzitos.
- phcm GRUPO CACHOEIRINHA - UNIDADE MÉDIA: Filitos, metassilitos e xistos, com intercalações de quartzitos, itabiritos e ortoanfibolitos.
- pchi GRUPO CACHOEIRINHA - UNIDADE INFERIOR: Xistos, filitos e metassilitos; níveis de grafita; meta vulcânicas básicas e metaconglomerados.
- phb GRUPO CHAPADA DIAMANTINA - FORMAÇÃO TOMBADOR: Arenitos ortoquartzíticos; lentes de conglomerado basais.
- pm COMPLEXO MONTEIRO: Gnaisses com intercalações anfibolíticas, biotita xistos, leptilitos e metagrauvacas. Quartzitos ferríferos; calcossilicáticas; calcários; anfibolitos; quartzitos micáceos; xistos; gnaisses; xistos e calcários e migmatitos.
- plib GRUPO IBÓ: Metarcósios, paragnaisse a biotita e/ou granada xistos, anfibolitos e metaultramáficas.
- pjp COMPLEXO PRESIDENTE JUSCELINO: Paragnaisse variados, migmatitos granulitizados e anfibolitos. Metatexitos; diatexitos (dtx); gnaisses tonalíticos; migmatitos associados a granitóides; calcários; calcossilicáticas, metabasitos e quartzitos.
- ca ASSOCIADA A DIFERENTES UNIDADES:Calcários e calcários metamórficos.
- qd ASSOCIADA A DIFERENTES UNIDADES:Quartzitos.

Traçado do canal

ESCALA  
1:500.000 0 5.000 20.000 m

## DISCIPLINA INTERDEPARTAMENTAL 044-500 Trabalho de Formatura - Projeto nº TF-99/17

**TÍTULO:** Avaliação de Escavabilidade e Estimativa de Volume dos Materiais Presentes nas Alternativas de Canais de Adução Para a Transposição de Águas do Rio São Francisco.

**ALUNA:** Tays Ribeiro

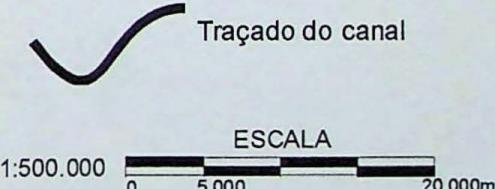
## ANEXO 6:

Primeiro Sistema de Adução  
Geologia Regional



## LEGENDA

- [Qa] ALUVIÕES: Depósitos inconsolidados constituídos por areias finas a grosseiras, com cascalho e matéria orgânica.
- [TQc] COBERTURAS COLÚVIO-ELUVIAIS: Areias silticas a argilosas, localmente laterizadas.
- [Ksa] GRUPO SANTO AMARO: Folhelhos com intercalações de arenito.
- [Kis] GRUPO ILHAS: Folhelhos com nódulos de carbonatos centimétricos; arenitos finos descontínuos.
- [Km] FORMAÇÃO MARIZAL: Paraconglomerados e arenitos imaturos, folhelhos e siltitos, ocorrendo lentes carbonáticas
- [Kar] GRUPO ARARIPE INDIVISO: FORMAÇÕES EXU E SANTANA: Arenitos grosseiros, friáveis, por vezes conglomeráticos, com intercalações de calcários laminados, folhelhos e margas betuminosas.
- [Jb] GRUPO BROTAS: Conglomerados, arenitos finos a conglomerados e folhelhos.
- [Di] FORMAÇÃO INAJÁ: Arenitos finos, siltitos e folhelhos, com intercalações de arenitos grosseiros e margas.
- [SDt] FORMAÇÃO CARIRI E TARACATU INDIVISAS: Arenitos grosseiros e conglomerados, com lentes de caulim. Presença de estratificações cruzadas.
- [p $\gamma$ Y] SUITE MAGMÁTICA: Granitos porfiríticos com remanescentes de migmatitos.
- [p $\gamma$ Y2] SUITE MAGMÁTICA: Granitos, tonalitos e quartzo-monzonitos.
- [p $\gamma$ o] SUITE MAGMÁTICA: Sienitos.
- [p $\gamma$ o] COMPLEXO MONTEIRO: Gnaisses com intercalações anfibolíticas, biotita xistos, leptinitos e metagrauvacas. Quartzitos ferríferos (qf); calcossilicáticas (cs); calcários (ca); anfibolitos (af); quartzitos micáceos (q); xistos; gnaisses; xistos e calcários (gxc), e migmatitos (mi).
- [p $\gamma$ o] COMPLEXO PRESIDENTE JUSCELINO: Paragnaisse variados, migmatitos granulizados e anfibolitos. Metatexitos; diatexitos (dtx); gnaisses tonalíticos; migmatitos associados a granitóides; calcários; calcossilicáticas, metabasitos e quartzitos.
- [ca] ASSOCIADA A DIFERENTES UNIDADES: Calcários e calcários metamórficos.
- [d] ASSOCIADA A DIFERENTES UNIDADES: Quartzitos.



ESCALA  
1:500.000 0 5.000 20.000m

## DISCIPLINA INTERDEPARTAMENTAL 044-500 Trabalho de Formatura - Projeto nº TF-99/17

**TÍTULO:** Avaliação de Escavabilidade e Estimativa de Volume dos Materiais Presentes nas Alternativas de Canais de Adução Para a Transposição de Águas do Rio São Francisco.

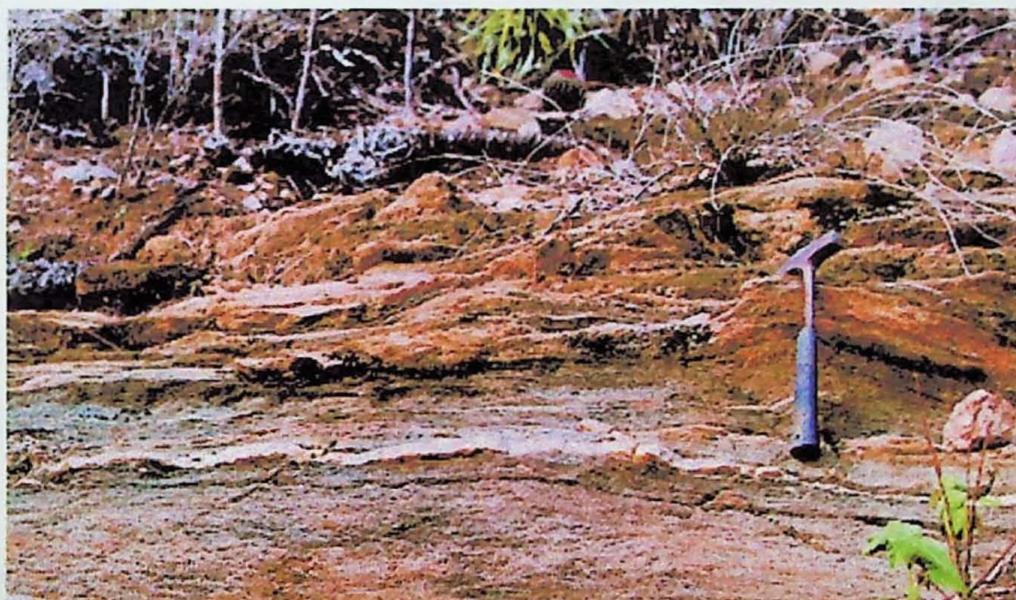
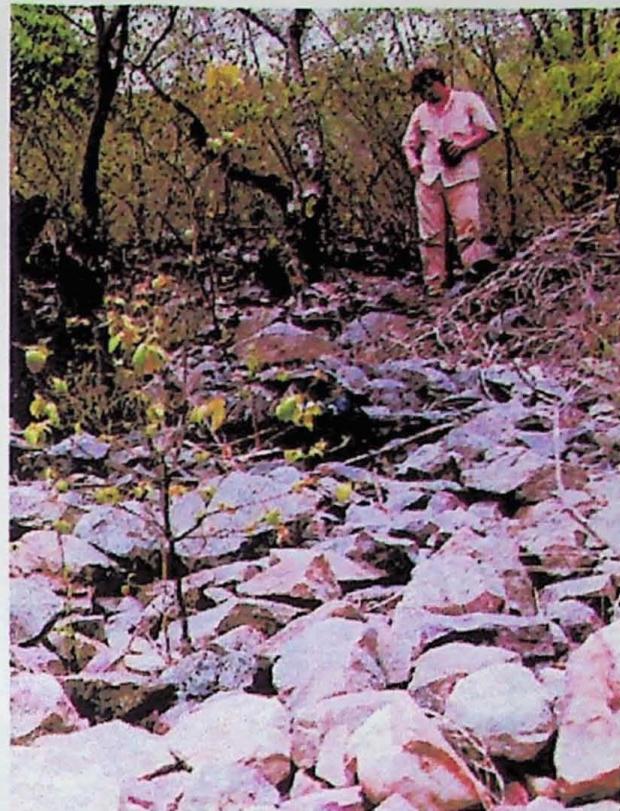
**ALUNA:** Tays Ribeiro

## ANEXO 7:

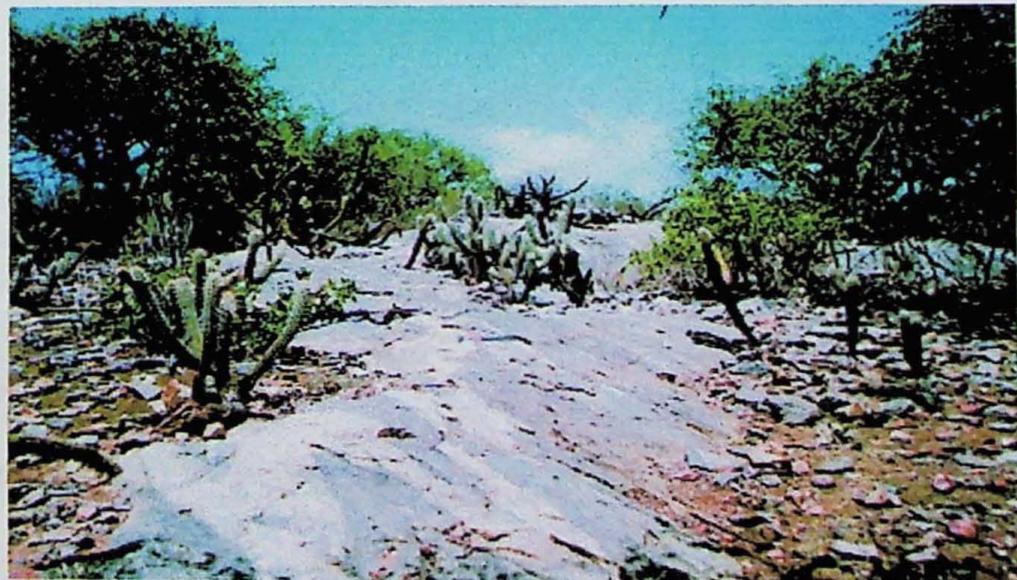
Segundo Sistema de Adução  
Geologia Regional



**Foto 1:** Blocos decimétricos a centimétricos presentes nos morros de migmatito.



**Foto 2:** Migmatito semi-alterado, com intercalações decimétricas entre o leucossoma e o mesossoma.



**Foto 3:** Migmatitos aflorando no ponto IB-11.



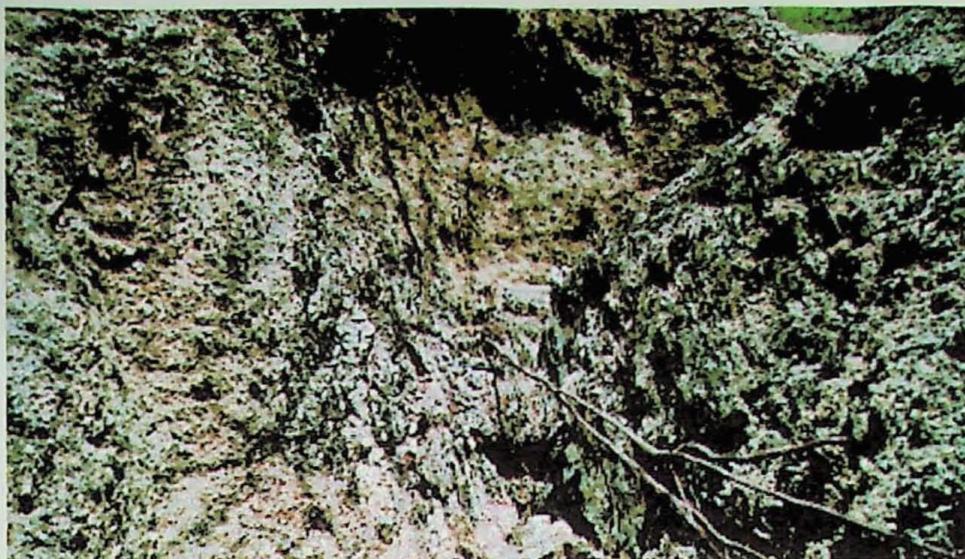
**Foto 4:** Detalhe do fraturamento da porção leucocrática (ponto IB-19)



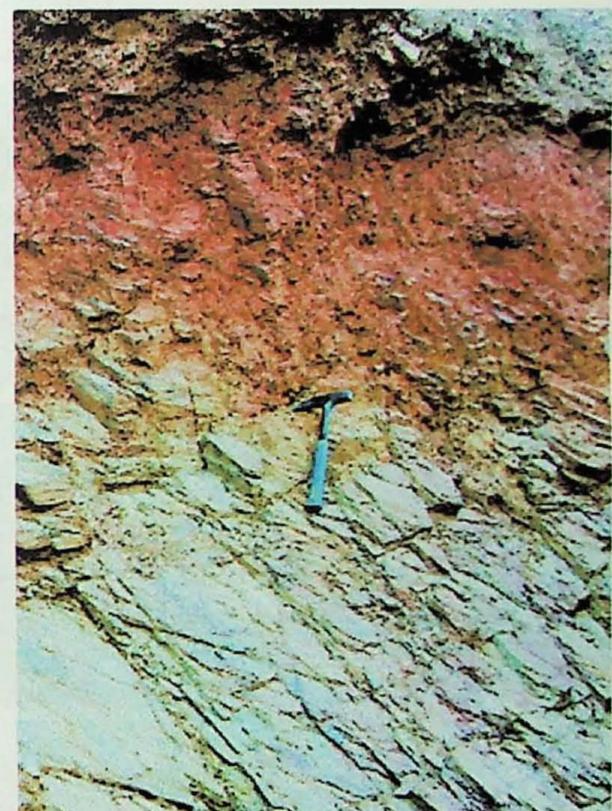
**Foto 5:** Grande lage de augen-gnaisse homogêneo (ponto IB-33).



**Foto 6:** Aspecto geral dos quartzo-mica xistos acinzentados.



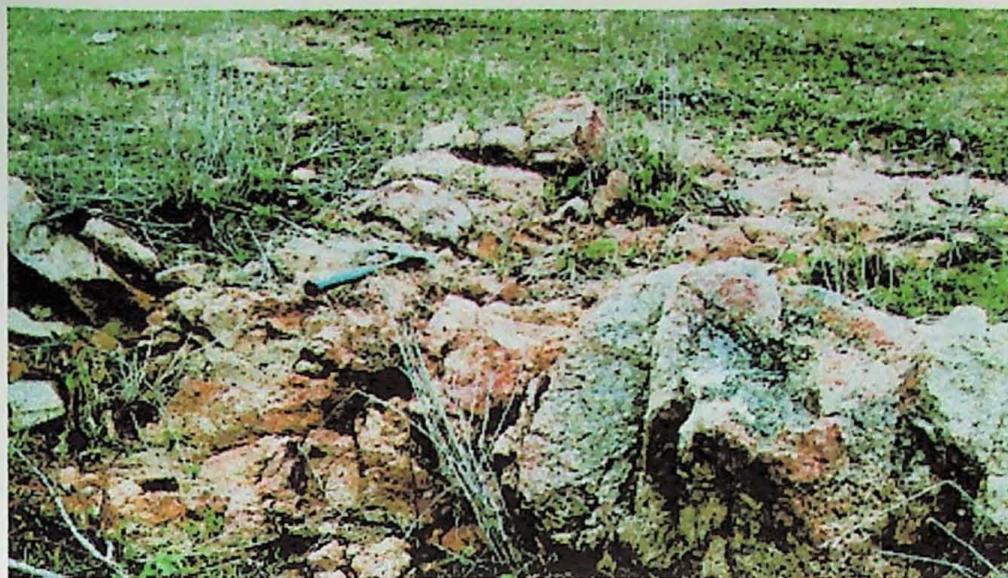
**Foto 7:** Solo saprolítico de micaxisto.



**Foto 8:** Vista da parede de uma trincheira expondo saprolito de micaxisto, solo saprolítico e cobertura de solo residual.



**Foto 9:** Saprolito de quartzo-secicita xisto.



**Foto 10:** Granito com uma faixa semi-alterada devido ao intenso diaclasamento.



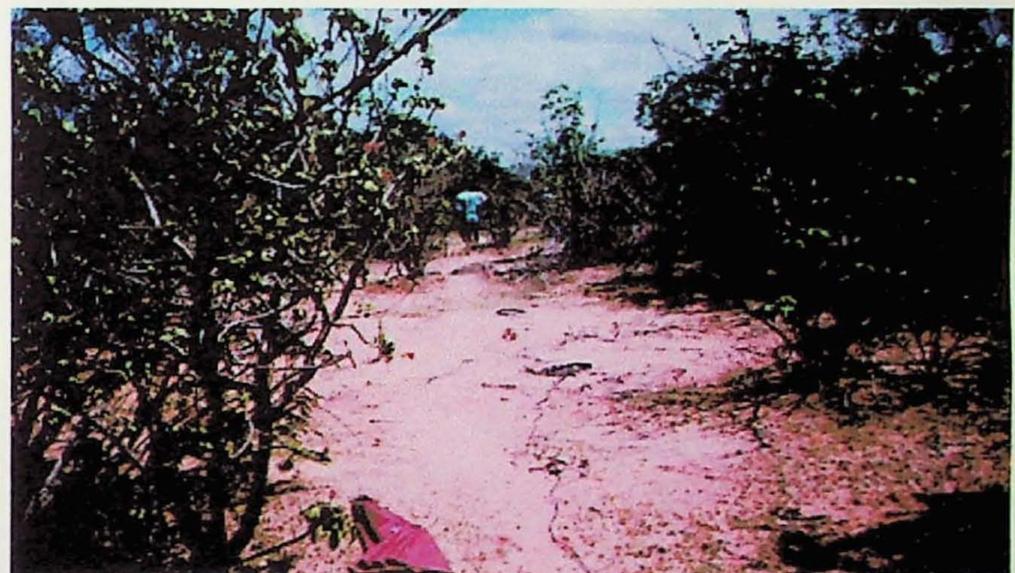
**Foto 11:** Matacões graníticos ocorrendo em superfície.



**Foto 12:** Aspecto do solo residual de arenito.



**Foto 13:** Aspecto do solo da região. Observar a morfologia do terreno.



**Foto 14:** Aspecto do solo e vegetação da região.



**Foto 15:** Bloco de arenito arcoseano duro.

**ANEXO 9: Primeiro Sistema de Adução – Levantamento  
Geológico das Faixas de Obra**

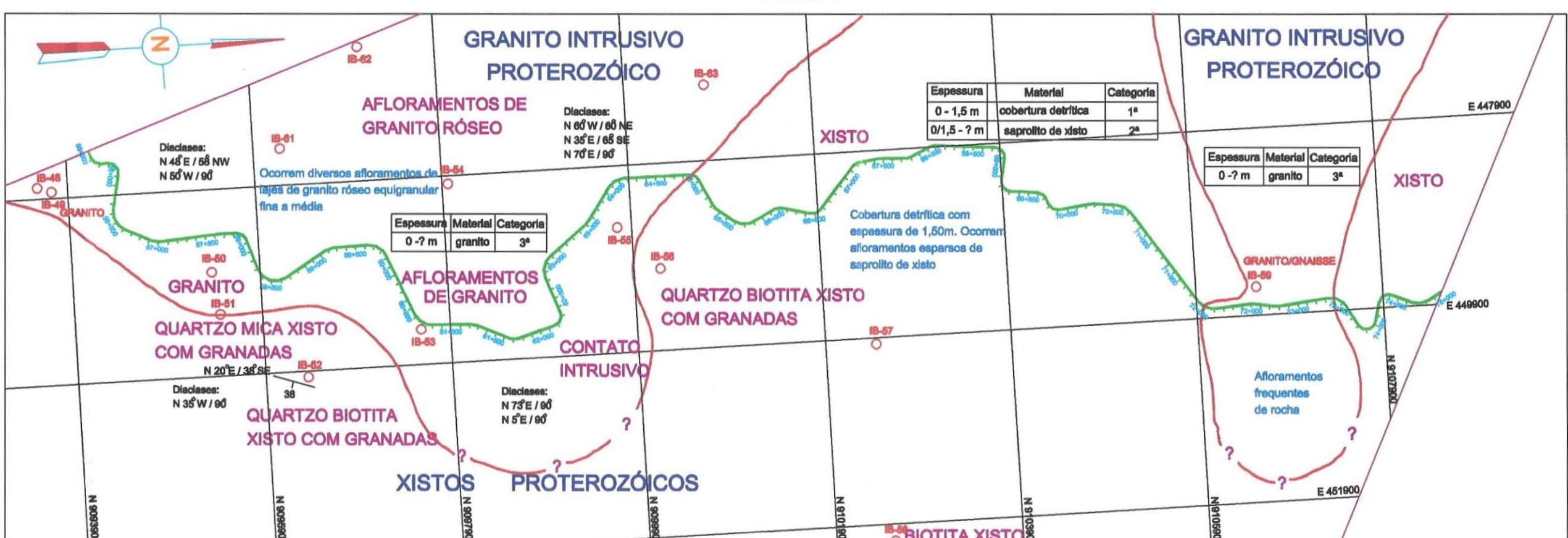
# Planta 1



Planta 3



Planta 4



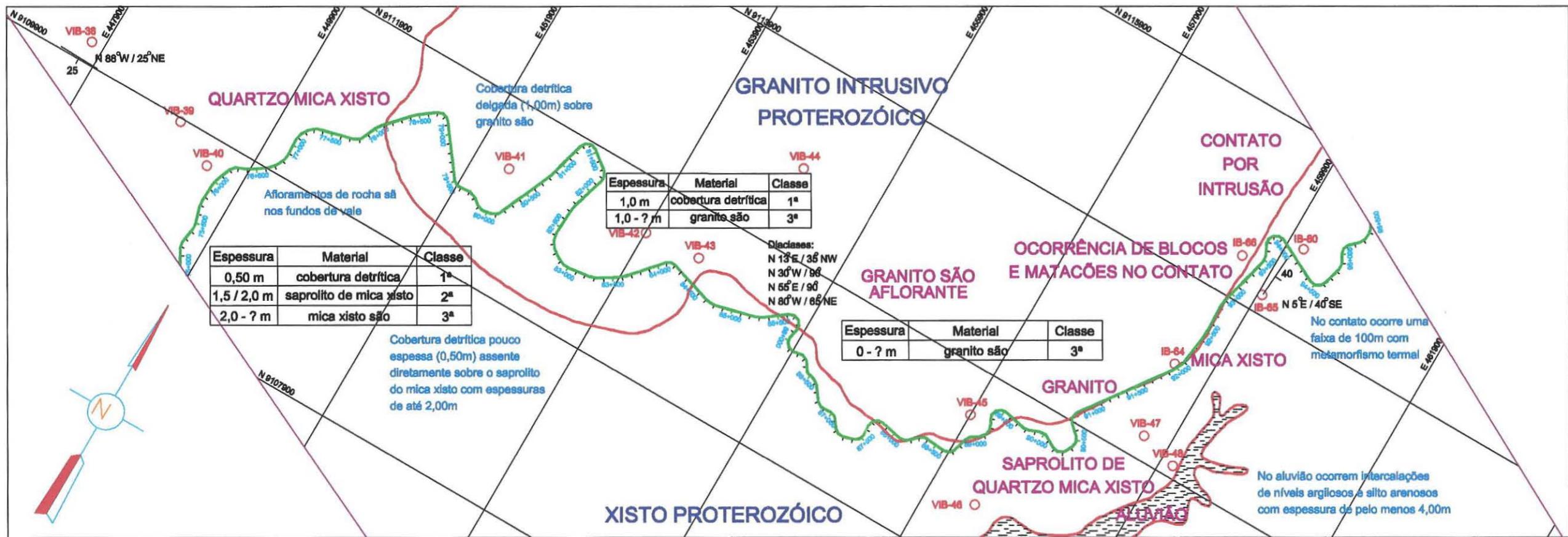
DISCIPLINA INTERDEPARTAMENTAL 044-500  
Trabalho de Formatura - Projeto nº TF-99/17

TÍTULO: Avaliação da Escavabilidade e Estimativa de Volume das Materiais Presentes nas Alternativas de Canais de Adução Para a Transposição de Águas do Rio São Francisco

ALUNA: Taya Ribeiro

ANEXO 9:  
PRIMEIRO SISTEMA DE ADUÇÃO  
LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DAS  
FAIXAS DE OBRA

Planta 5



Planta 6



LEGENDA	
BR-257	Ponto de Observação
Tracejado	Contato Geológico (tracejado quando inferido)
15	Falha
15	Foliação com Indicação de Mergulho
Tracejado	Traçado do Canal
Dashed	Planície Aluvional
Blue circle with cross	Poço Tubular
Blue circle with dot	Cisterna
Red diamond	Elevatória

NOTA

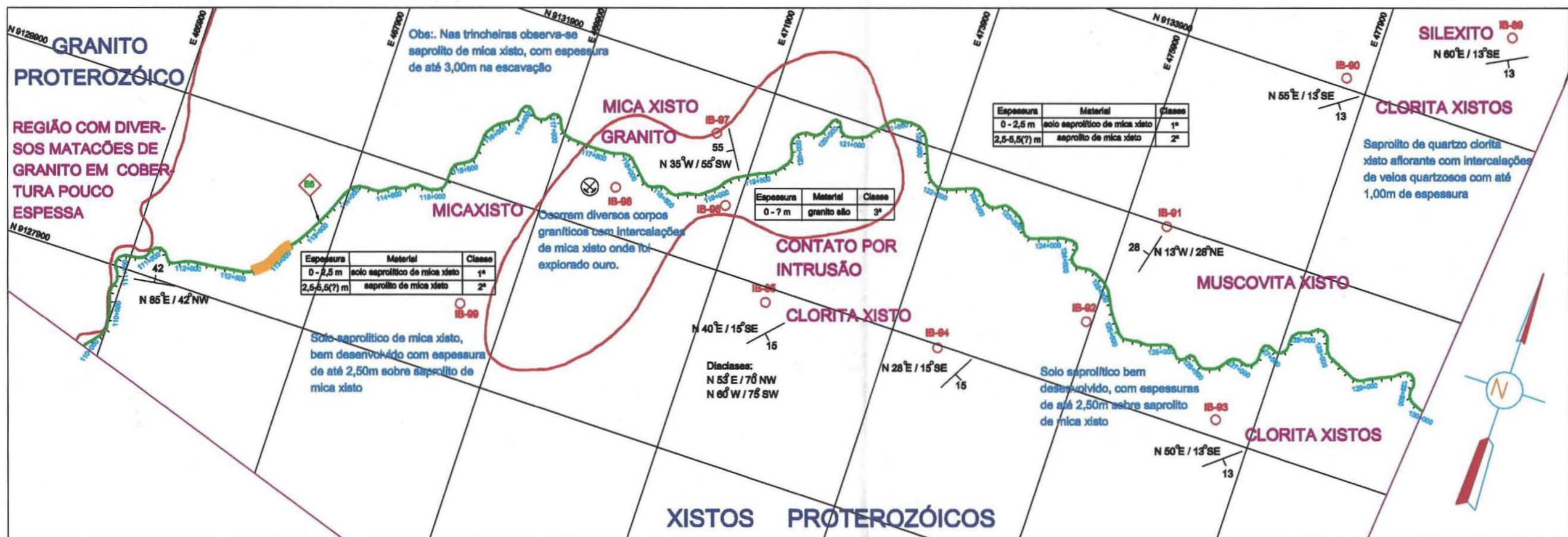
1- A DESIGNAÇÃO DOS PONTOS DE OBSERVAÇÃO OBEDICE ÁQUELA ADOTADA NAS FICHAS DE CAMPO.

DISCIPLINA INTERDEPARTAMENTAL 044-500  
Trabalho de Formatura - Projeto nº TF-89/17

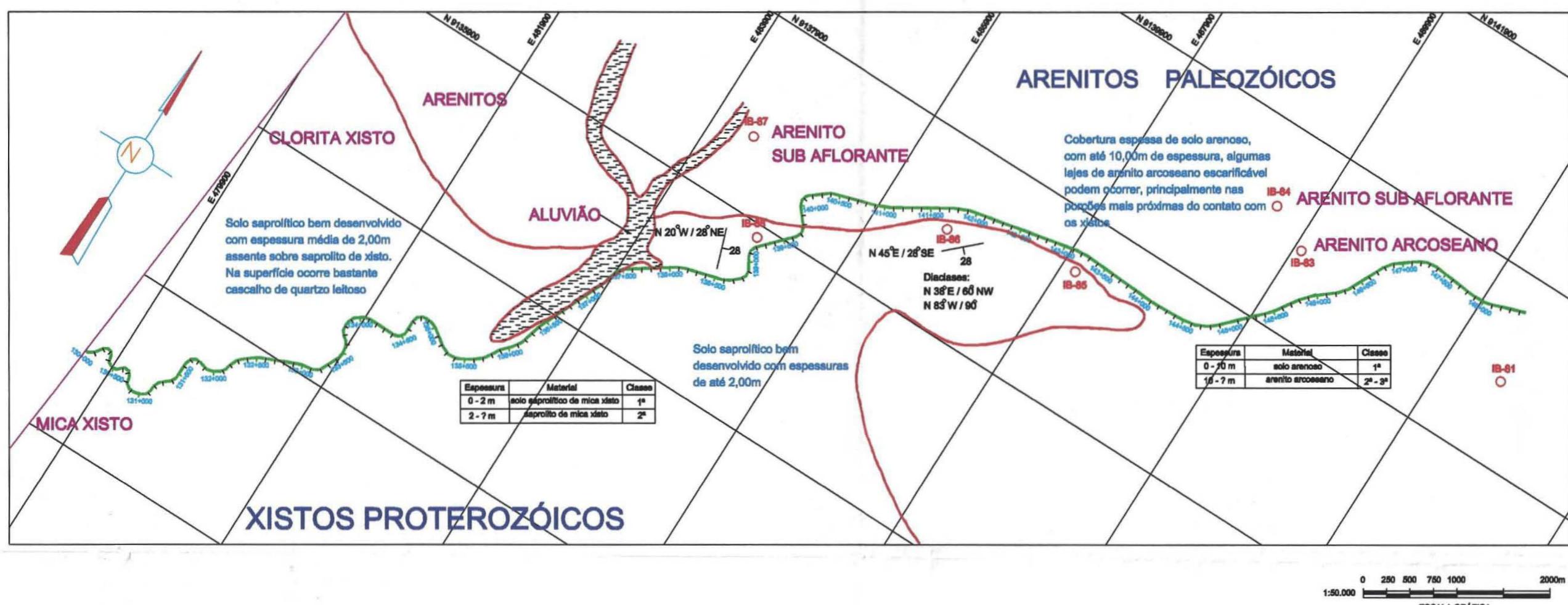
TÍTULO: Avaliação de Encalhabilidade e Estimativa de Volume dos Materiais Presentes nas Alternativas de Canais de Adução Para a Transposição de Águas do Rio São Francisco  
ALUNA: Taya Ribeiro

ANEXO 9:  
PRIMEIRO SISTEMA DE ADUÇÃO  
LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DAS FAIXAS DE OBRA

## Planta 7



## Planta 8



## **LEGENDA**

- onto de Observação  
contato Geológico  
(rascaneado quando inferido)  
coligação com Indicação de Mergulho  
trepado do Canal  
canhão Aluvionar  
arlimpo Abandonado  
quebrado  
levatória

## NOTA

**1- A DESIGNAÇÃO DOS PONTOS DE OBSERVAÇÃO  
OBEDECE ÀQUELA ADOTADA NAS FICHAS DE CAMPO.**

DISCIPLINA INTERDEPARTAMENTAL 044-500

**TÍTULO:** Avaliação de Escavabilidade e Estimativa de Volume dos Materiais Presentes nas Alternativas de Canais de Adubação Para a Transposição de Águas do Rio São Francisco

AL LUNA: Teva Ribaim

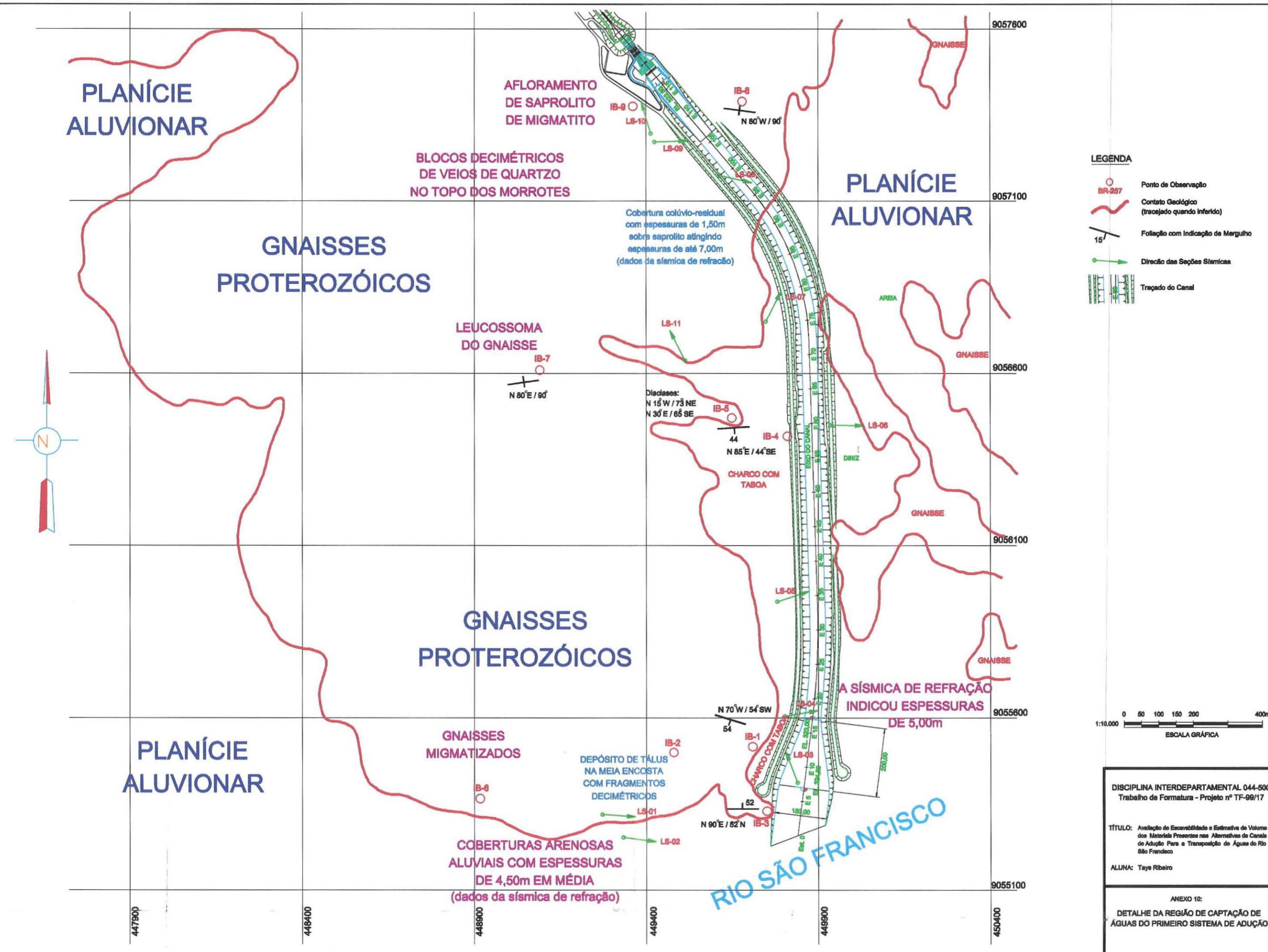
## ANEXO

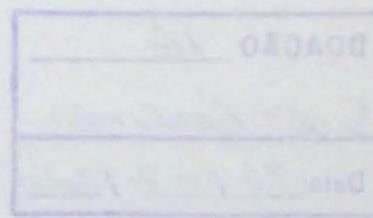
PRIMEIRO SISTEMA DE ADUÇÃO  
LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DAS  
FAIXAS DE OBRA

**ANEXO 10:** Detalhe da Região de Captação de Águas do  
Primeiro Sistema de Adução

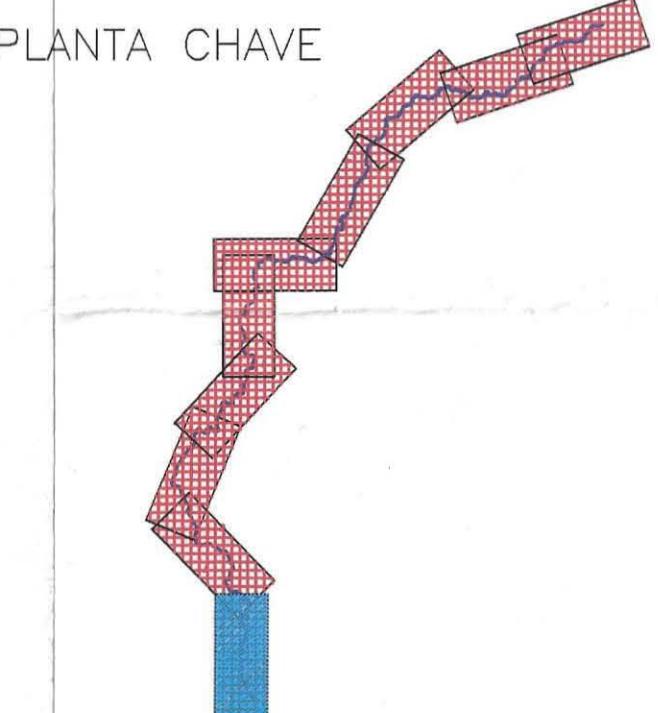
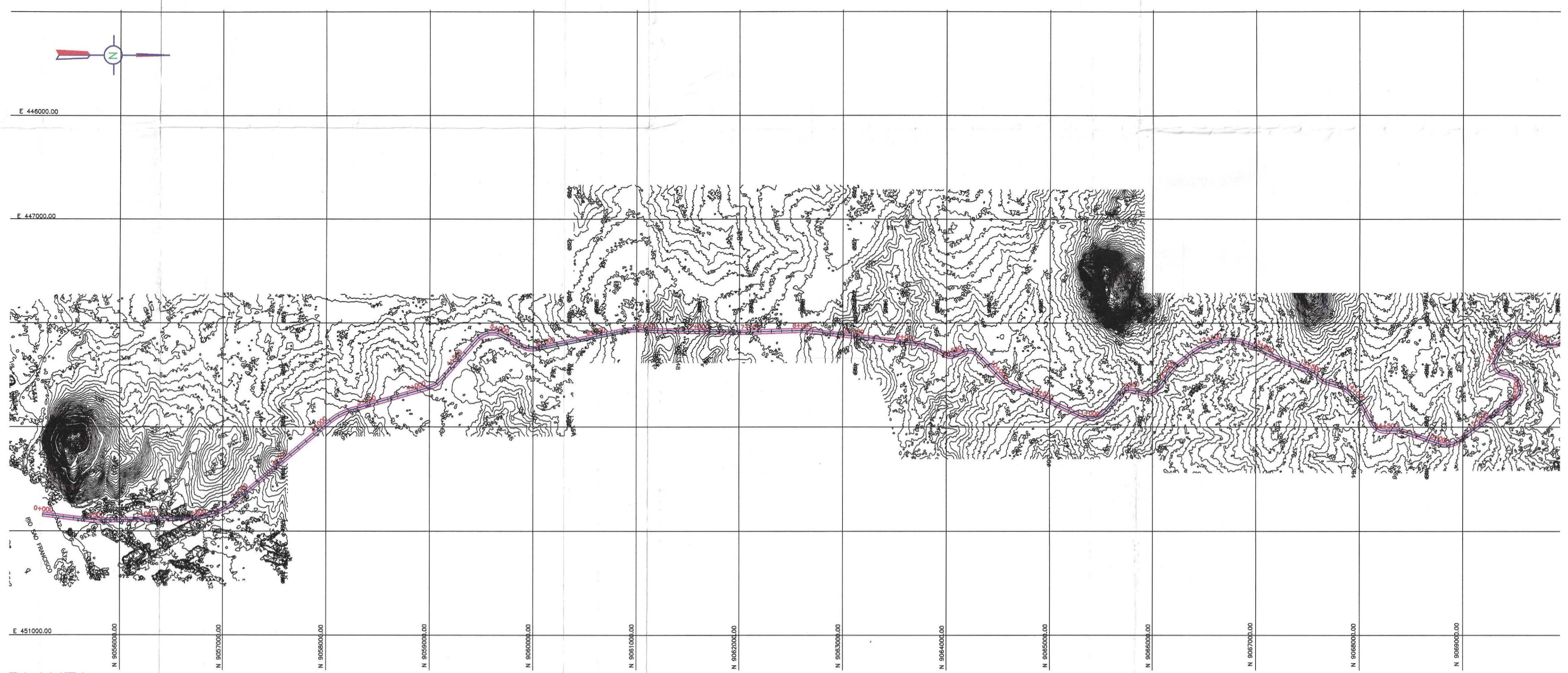


**ANEXO 11: Segundo Sistema de Adução – Levantamento  
Geológico das Faixas de Obra**





**ANEXO 12:** Perfil e Seções Transversais dos 15 Km Iniciais do  
Primeiro Sistema de Adução

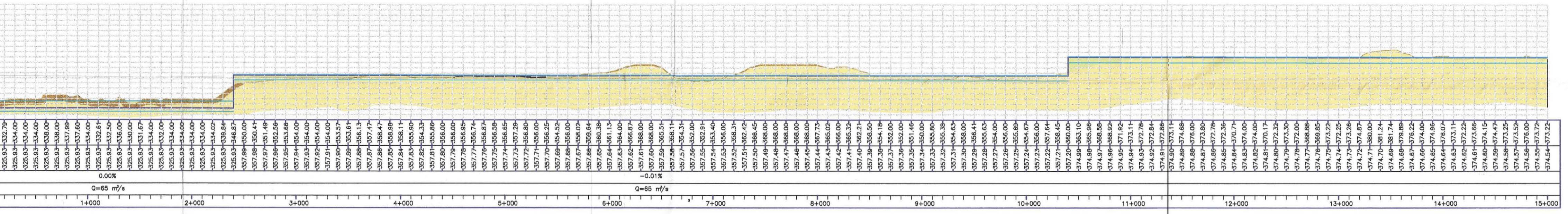


#### NOTAS

- 1 - COTAS E DIMENSÕES EM METRO
- 2 - ESTAQUEAMENTO EM QUILOMETRO

#### LEGENDA

- EIXO DO CANAL
- TOPO DO CANAL (BORDA)
- NÍVEL D'ÁGUA
- FUNDO DO CANAL
- CURVAS DE NÍVEL
- MATERIAL DE 1<sup>a</sup> CATEGORIA
- MATERIAL DE 3<sup>a</sup> CATEGORIA
- ATERRO



DOAÇÃO	16
Socorro Gradiuado	
Data:	26/07/2000

