

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Investigação Geológica e Geotécnica na Implantação de Tubulação Adutora

Daniel Corrêa de Souza

**Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares
Co-orientador: Vinícius Gomes Taveira Mano**

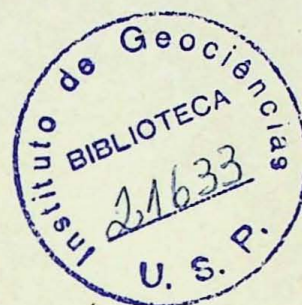
**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/08/14)**

**SÃO PAULO
2008**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Investigação Geológica e Geotécnica na Implantação de Tubulação Adutora

Daniel Corrêa de Souza



Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares
Co-orientador: Vinícius Gomes Taveira Mano

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/08/14)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900025617

SÃO PAULO
2008

Tf
S729
DC.2

*Dedico esta monografia à memória de meu pai, o suor
em seu rosto foi o meu maior exemplo de vida.
Obrigado Aparecido Corrêa de Souza.*

Agradecimentos

Não, uma monografia não é feita por apenas uma pessoa...

Quero agradecer primeiramente a minha mãe Veruzia pela excelente educação e carinho que recebi durante todos esses anos.

Agradeço a minha irmã Gláucia que desde o início acreditou em mim, apoiando-me durante toda caminhada e também a minha querida sobrinha Nathália.

Agradeço ao meu tio Joaquim, que é um dos grandes responsáveis pelas minhas conquistas, e sempre esteve presente nas horas difíceis.

A minha linda namorada Érica por toda paciência e atenção dedicada a mim e por tudo que pude aprender com ela durante este ano que estivemos juntos.

Ao professor orientador deste projeto Lindolfo Soares pelo apoio dado durante o desenvolvimento deste trabalho e ao meu co-orientador Vinicius Mano pela amizade e companheirismo.

Ao Dr. José Mito, que foi um grande professor e amigo com quem tive o privilégio de conviver durante um ano de trabalho, tempo suficiente para perceber que pessoas de caráter ainda existem.

A todos meus velhos amigos da cidade de Conchal e as novas amizades conquistadas durante os meus 5 anos nesta universidade.

Quero deixar o meu mais sincero agradecimento a estas pessoas que de alguma maneira contribuíram para a realização deste sonho.

Peço perdão a todos que deveriam ter seus nomes citados neste trabalho e não o tiveram, a estas pessoas as minhas sinceras desculpas e o meu agradecimento.

Por fim, quero agradecer a todo cidadão brasileiro, que paga um dos maiores impostos do mundo, sem essas pessoas com certeza eu não teria chegado até aqui.

Índice Geral

1. Resumo	1
2. Abstract	2
3. Introdução	3
4. Objetivos	4
4.1 Objetivos Gerais	4
4.2 Objetivos Específicos	4
5. Fundamentação Bibliográfica	5
6. Área de estudo	7
6.1 Localização e Acessos	7
6.2 Geologia Regional	8
7. Métodos	13
7.1 Atividades de Escritório e de Campo	13
7.2 Amostragem	15
8. Procedimentos Analíticos	17
8.1 Análise Granulométrica	17
8.2 Ensaio de Densidade Real	18
8.3 Determinação do Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e do Índice de Plasticidade	19
8.4 Umidade Natural	21
8.5 Ensaio de Compressão Simples	21
8.6 Petrografia	22
9. Desenvolvimento do Trabalho	22
9.1 Atividades Realizadas no Período	22
9.2 Dificuldades Encontradas	23
10. Resultados Obtidos	24
10.1 Classificação Segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos	24
10.2 Densidade Real	27
10.3 Umidade Natural	28

10.4 Compressão Simples	28
10.5 Petrografia.....	31
10.6 Análise dos Dados Obtidos de Esquemas Planialtimétricos e Perfis.....	33
10.6.1 Índices Pluviométricos.....	33
11. Discussão dos resultados	35
12. Conclusão.....	36
Referencias Bibliográficas	39
Anexos	43

Índice de Tabelas

Tabela 1: Densidade real expressa em (g/cm ³).....	28
Tabela 2: Dados obtidos para determinação da umidade natural.....	28
Tabela 3: Valores determinados para a amostra durante ensaio de compressão simples..	29

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de localização e acesso à área estudada.....	8
Figura 2: Geologia regional.....	9
Figura 3: Esboço geológico do Maciço Alcalino de Passa Quatro coordenadas UTM.....	11
Figura 4: Mapa de declividades.....	12
Figura 5: Curva Granulométrica.....	25
Figura 6: Limite de liquidez da amostra 1.....	25
Figura 7: Limite de liquidez da amostra 2.....	26
Figura 8: Carta de plasticidade para classificação de solos finos pelo SUCS.....	26
Figura 9: Representação gráfica do índice de vazios referente aos corpos de prova 1, 2 e 3 extraídos da amostra 2.....	30
Figura 10: Representação gráfica dos dados obtidos durante ensaio de compressão simples da amostra 2 com valores apresentados em porcentagem para deformação axial e KPa para tensão.....	31
FIGURA 11: TOTAIS PRECIPITADOS MENSIS NO POSTO PLUVIOMÉTRICO ITANHANDU	

(PERÍODO 1941- 2005).....	34
FIGURA 12: TOTAIS PRECIPITADOS ANUALMENTE (PERÍODO: 1941-2005) NO POSTO PLUVIOMÉTRICO DE ITANHANDU.....	34
Figura 13: Variação da resistência à compressão não confinada com o grau de saturação.....	36

Índice de Fotografias

Foto 1: Conduto deformado.....	14
Foto 2: Conduto suspenso na encosta.....	14
Foto 3: Conduto rompido por movimentos de massa da encosta.....	14
Foto 4: Bloco de rocha de corpo de tálus sobre o conduto.....	14
Foto 5: Vegetação típica dos campos de altitude.....	14
Foto 6: Tronco de árvore inclinado por rastejo.....	14
Foto 7: Local de coleta da amostra de solo coluvionar deformada.....	16
Foto 8: Amostra deformada do solo coluvionar.....	16
Foto 9: Local de coleta da amostra indeformada.....	16
Foto 10: Cubo talhado com arestas de 20 cm.....	16
Foto 11: Proteção feita com papel alumínio.....	16
Foto 12: Proteção feita com talagarça.....	16
Foto 13: Proteção feita com parafina fundida e caixa de madeira.....	17
Foto 14: Amostra indeformada de solo de alteração de rocha.....	17
Foto 15: Modelo de corpo de prova existente no laboratório.....	22
Foto 16: Corpo de prova rompido no ensaio de compressão simples.....	22
Foto 17: Nefelina sienito cinza.....	32
Foto 18: Nefelina sienito cinza.....	32
Foto 19: Contato entre a nefelina e o feldspato (feldspato encontra-se alterado).....	32
Foto 20: Contato entre a nefelina e o feldspato alterado com polarizador cruzado.....	32
Foto 21: Piroxênio zonado (aegirina-augita).....	33
Foto 22: Substituição do clinopiroxênio por biotita e anfibólio.....	33

1. Resumo

Para realização da investigação geológica e geotécnica na implantação da tubulação adutora que vira a substituir uma antiga tubulação localizada sobre o Maciço Alcalino de Passa Quatro, foram realizadas basicamente três etapas de trabalho: atividades de escritório, atividades de campo e análises laboratoriais.

Durante as atividades de escritório, constatou-se a existência de altas declividades na região além de um período chuvoso e outro seco com duração de seis meses cada. Os trabalhos de campo confirmaram os altos ângulos das encostas na área estudada e as elevadas declividades dos taludes de corte, que atingem valores próximos dos 90°, ainda durante a atividade de campo foi observado a existência de um anfiteatro formado por um corpo de tálus que demonstrou ser o responsável pelas movimentações de massa e conseqüentemente pelas deformações e rompimentos vistos na antiga tubulação.

Os trabalhos laboratoriais tiveram início com as análises granulométricas e determinação dos limites de Atterberg para duas amostras representativas dos solos encontrados próximo ao corpo de tálus na cota de 1330 m, os valores obtidos nestes ensaios classificaram os solos como silte de baixa plasticidade e silte elástico, para este último sugeriu-se a tendência a recalque devido sua elasticidade; esta classificação foi feita com base no Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). Os ensaios de resistência à compressão simples revelaram um valor relativamente alto de resistência a compressão para o silte de baixa plasticidade e permitiu estimar uma altura crítica de cerca de 10 m para um talude aberto neste solo.

Para a estabilização do corpo de tálus sugeriu-se duas formas de abordagem: em locais que apresentarem ocorrência de blocos de diâmetro métricos, é indicado forçar sua remoção a fogo; em locais que apresentarem a possibilidade de queda de pequenos blocos de rocha, pode-se fazer o uso de proteção com tela.

2. Abstract

The accomplishment of geological and geotechnical investigation on the deployment of tubing that will take place of an old pipe located on the Passa Quatro Alkaline Massif, had three stages of work: office activities, field works and laboratory tests.

During the office activities, it was verified the existence of a high slope topography, besides rainy and dry seasons with a six months periods each. The field works confirmed the high angles slopes at the area and the high slopes of embankments of cutting, which reach values of 90° . Even during the field works was noticed the presence of a amphitheater formed by a talus body, that was the responsible for the mass movements and consequently the deformations and disruptions seen at the old tubing.

The work began with the laboratory analysis and size determination of the Atterberg limits for two representative samples of soil found near the body of the talus body at 1330 m from the Passa Quatro Alkaline Massif, the values from these trials classified as low plasticity silt and elastic silt, so its suggested that the trend of suppression because of its elasticity; this classification was based on the Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). The tests of simple compression resistance showed a relatively high value of compression resistance to the low plasticity silt and allowed estimating a 10 meters critical height for the open embankment on this soil.

To stabilize the talus body it is suggested two manners of approach: in places that present metric blocks, it is recommended to force its removal by explosion; in places that present the chances of collapse of small blocks, its recommended the use of guard net.

3. Introdução

Segundo a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1998), os primeiros estudos sobre escorregamentos remontam há mais de 2.000 anos, em países como China e Japão.

Movimentos de massas, ou movimentos coletivos de solos e de rochas, têm sido objeto de amplos estudos nas mais diversas latitudes, não somente por sua importância como agentes atuantes na evolução das formas de relevo, mas também por suas implicações práticas e importância do ponto de vista econômico (Guidicini & Nieble, 1976).

Nas regiões tropicais ocorre um grande desenvolvimento do manto de alteração das rochas devido à intensa atuação do intemperismo, com espessuras geralmente elevadas chegando a mais de 100m, que variam de acordo com a rocha de origem, estruturação e geomorfologia local. Este manto de alteração caracteriza-se pela heterogeneidade em termos composicionais, tanto no que se refere à distribuição horizontal como no perfil vertical, variando não apenas em função de cada litologia, mas também das condições geomorfológicas e hidrológicas da área (Carregã, 1994).

“A Geologia Aplicada, hoje é uma indispensável ferramenta na análise das condições de estabilidade de massas de solo e rocha. Reconhece-se cada vez mais a necessidade de integrar o conhecimento dos mecanismos físicos de instabilização com o meio natural onde eles ocorrem, fornecendo um quadro mais completo e realístico de movimentos de taludes em meios descontínuos como são via de regra, os meios naturais” (Carregã, 1994).

Brabb (1991 *apud* ABGE, 1998) estima em milhares de mortes e dezenas de bilhões de dólares de prejuízos por ano, relacionados à deflagração de escorregamentos no mundo inteiro.

No Brasil, existem relatos de escorregamentos nas encostas de Salvador (BA) datados do Império (1671). Os movimentos em taludes e encostas têm causado, principalmente nas duas últimas décadas, acidentes em várias cidades brasileiras, muitas vezes com mais de dezenas de vítimas fatais.

Amaral *et al.* (1993 *apud* ABGE, 1998) apresentam a quantia de cerca de 7,1 milhões de dólares com gastos associados à execução de obras de contenção nas encostas do Rio de Janeiro, no período de 1988 a 1991. Mais recentemente, na mesma cidade, cerca de sete mil toneladas de solo caíram sobre uma das saídas do Túnel Rebouças, sendo necessários investimentos da ordem de cinco milhões de reais para os reparos.

A importância nos casos de estabilização de taludes para tubulação adutora, seja ela de baixa ou alta pressão, transportadora de água, óleo ou gás, dá-se diante da

possibilidade de rompimento da tubulação devido a escorregamentos, podendo ainda ocasionar mortes, além de danos financeiros e ambientais.

O tema do trabalho se faz atual, visto que com a crescente demanda por energia elétrica no país, a construção de pequenas e médias hidrelétricas teve significativo aumento, sendo que a estabilização de encostas, taludes de corte ou talvegues naturais se faz necessária para minimizar danos ambientais gerados pela implantação dessas usinas e ainda, para evitar prejuízos relacionados a escorregamentos.

Importante lembrar que cada vez mais se utilizam condutos para transporte de combustíveis, como ocorre no gasoduto Brasil-Bolívia ou mesmo o oleoduto São Paulo-Brasília, sendo este mais um tema onde a consolidação de encostas se insere de forma significativa.

4. Objetivos

4.1 Objetivos Gerais

A grande extensão da Tubulação Adutora de Baixa Pressão da Pequena Central Hidrelétrica Lamins exigiu transposição de várias linhas de talvegues naturais e taludes, originando pontos de instabilidade.

Este trabalho tem por objetivo empregar conhecimentos geológico-geotécnicos nos estudos de consolidação de taludes de corte, com suporte geométrico dos taludes e caracterização dos materiais encontrados ao longo da tubulação adutora.

4.2 Objetivos Específicos

1) Determinar o tipo de solo que ocorre próximo ao corpo de tálus instabilizado e suas características físicas.

2) Caracterizar os litotipos presentes e seus respectivos minerais.

3) Estabelecer possíveis relações entre as instabilidades existentes e os índices pluviométricos.

4) Analisar os perfis perpendiculares à tubulação com o objetivo de verificar a existência de elevados valores de declividade nos taludes de corte, os quais podem vir a necessitar de obras de consolidação.

5) Estimar a altura crítica de um talude de corte que venha a ser feito em um solo típico da região.

6) Realizar observações no corpo de tálus instabilizado com a finalidade de apresentar uma proposta para consolidação dos pontos críticos de ruptura e

conseqüentemente permitir a substituição da antiga tubulação adutora existente no local.

5. Fundamentação Bibliográfica

Os problemas de instabilidade em encosta estão ligados a uma multiplicidade de fatores naturais, que se iniciam na própria formação geológica do maciço e continuam através de suas evoluções geomorfológicas e estruturais, agravando-se sempre que ocorre a ação antrópica.

Por ser bastante grande a variedade e complexidade desses fatores, existe na literatura extenso acervo de dados e de observações realizadas pelas mais diversas categorias de profissionais: geólogos, mecanicistas de solos, construtores, geomorfólogos, engenheiros, geógrafos. Entretanto, constatou-se que no caso das rochas alcalinas, os trabalhos desenvolvidos normalmente são voltados para o estudo geológico, como o apresentado por Ribeiro Filho (1963), Penalva (1963), Sorensen (1974), Ruberti (1984).

Diante da complexidade dos fatores naturais e da diversidade de enfoque, o tema "escorregamento" apresenta grande dificuldade de análise e síntese. Uma das manifestações dessa dificuldade é a carência de um sistema classificador razoavelmente divulgado e aceito (Guidicini & Nieble, 1976).

Por se tratar de um estudo praticamente inédito de escorregamento envolvendo solo e rocha de proveniência alcalina em altitude acima dos 1300 m, a fundamentação bibliográfica baseou-se principalmente em casos similares de problemas geológicos-geotécnicos, no entanto, estes problemas desenvolveram-se na maioria das vezes sob diferentes litologias e climas.

Vargas (1966) descreve escorregamentos do manto de solo residual, de rocha gnáissica ou xistosa decomposta que recobrem os taludes ocorrentes na escarpa da Serra do Mar; este trabalho ainda menciona quatro tipos de escorregamentos: rastejo de camadas superficiais, escorregamento de material detrítico acumulado em área de antigos escorregamentos, escorregamentos súbitos do manto residual que cobre os taludes de rocha, escorregamentos de rocha e matacões. Também cita fatos históricos, tais como, escorregamentos ocorridos nos morros de Santos em 1956 e desabamentos em Santa Tereza, no Rio de Janeiro.

Vargas (1966) ao analisar a ocorrência de áreas de tálus e de taludes muitas vezes suaves, constatou que bastaria uma pequena escavação através de sua massa para que um enorme volume de solo entrasse em movimento. A Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1998), descreve os corpos de tálus, como

acumulações detríticas de sopé de escarpa ou de vertentes muito íngremes. São constituídos por matacões, blocos e materiais finos, mal selecionados e sem estruturas.

Mioto e Carlstron Filho (1976) descrevem a ocorrência de espessos solos coluvionares e tálus num trecho entre as cidades de Rocha Sales (RS) e Jaboticaba (RS). Os fenômenos que ocorrem nesses materiais foram descritos como movimentação ou tendência a deslizamento do solo devido à saturação, posição espacial e descalçamento da base ao nível da estrada.

Carregã (1994) realizou estudo sobre movimentações de taludes em perfil de intemperismo desenvolvido em ambientes tropicais, procurando estabelecer uma correlação entre o “perfil típico” de solos desenvolvidos pela alteração de rochas cristalinas em climas tropicais e os mecanismos de instabilização de ocorrência mais comum em cada horizonte.

Ao tratar dos escorregamentos em massas de tálus, Carregã (1994) ressalta a ação instabilizadora da água para corpo de tálus, essa água pode ser proveniente de chuva, nascentes soterradas por um antigo escorregamento que deu origem ao corpo de tálus ou ainda decorrente de antigas linhas naturais de drenagem que foram bloqueadas.

Rodrigues e Silva (1985) estudou a área central do maciço do Itatiaia e afirmou que “os latossolos ocupam as posições mais baixas em relação aos cambissolos e desenvolvem-se sobre material transportado das partes mais altas do relevo”, também aponta com base em um perfil de solo realizado na cota 2120 m, para um processo de alteração incompleta deste perfil, o que se deve, segundo o autor, principalmente ao processo de intensa movimentação física dos produtos.

Movimentações físicas também foram observadas na região por Contini (2001) na forma de escorregamentos e por Magro (1999) na forma de rastejos. Guidicini & Nieble (1976) classificam os escorregamentos como “movimentos rápidos, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude”. Um escorregamento tem sua velocidade crescendo de 0 a pelo menos 0,30 m por hora, decrescendo a seguir, até um valor diminuto. Velocidades maiores, da ordem de alguns metros por segundo, podem ser atingidas.

Os mesmos autores classificaram o rastejo como “movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites, via de regra, indefinidos. Podem envolver grandes massas de solos, como, por exemplo, os taludes de uma região inteira, sem que haja na área interessada, diferenciação entre material em movimento e material estacionário.

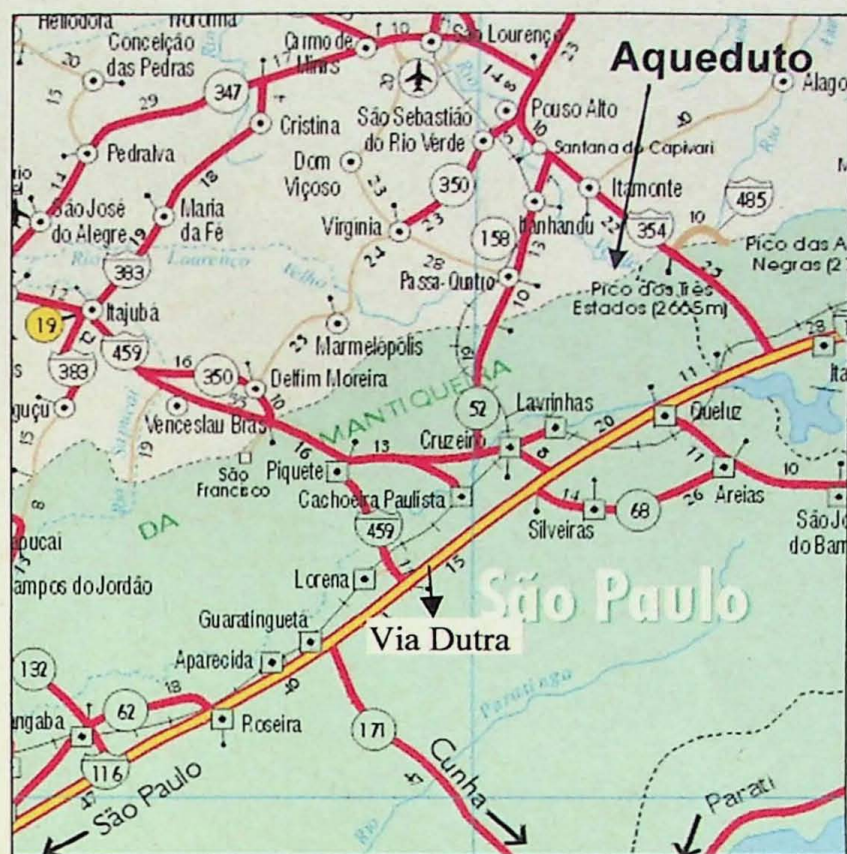
Costa Nunes (1974), com seu trabalho “Estabilidade de Taludes – Rocha e Solo” contribuiu de maneira significativa ao realizar uma revisão dos conhecimentos acerca do tema, neste trabalho ele exhibe os progressos realizados até meados de 1974, e cita métodos de estabilização recentes para a época, o autor ainda ressalta o pequeno aperfeiçoamento ocorrido nos métodos considerados tradicionais, como por exemplo, o contorno de taludes (evitação), remoção total ou parcial, suavização, drenagem superficial e profunda.

6. Área de estudo

6.1 Localização e Acessos

A área de estudo está localizada no município de Passa Quatro, estado de Minas Gerais, às margens do Rio Verde, correspondendo aproximadamente às coordenadas 22°22'06" S / 44°51'55" W (Figura 1).

O acesso à área pode ser feito pela Via Dutra até o município de Cachoeira Paulista; a partir daí, segue-se no sentido do município de Cruzeiro, tomando a SP-058; em seguida deve-se pegar a SP-052 continuando até o município de Itanhandu, tomando-se então a estrada que passa pelo bairro Jardim a qual dá acesso ao local de desenvolvimento dos estudos.



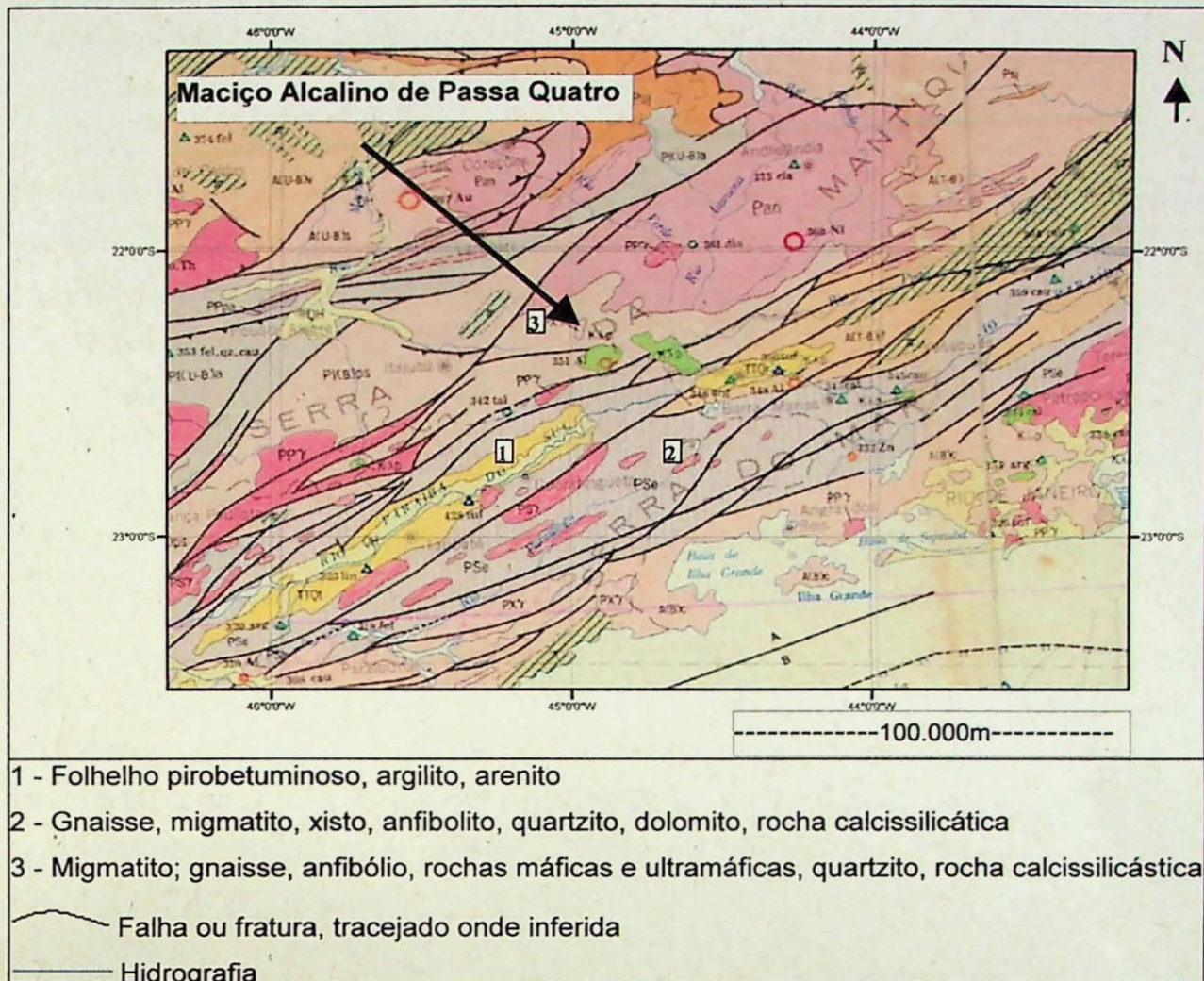
Fonte: MapLink

Figura 1: Mapa de localização e acesso à área estudada
(Escala 1:140.000)

6.2 Geologia Regional

No início do Cretáceo Superior, a atividade tectônica do Soerguimento do Alto Parnaíba levou à perturbação da bacia de Resende (que se encontrava em avançado processo de assoreamento) e à instalação do vulcanismo alcalino. Pequenos edifícios vulcânicos, com flancos íngremes e de atividade altamente explosiva, foram erigidos segundo direção preferencial NW (Governo do Estado de Minas Gerais, 1994).

O magmatismo cretáceo, associado à tectônica extensional da Reativação Sul Atlantiana, originou suítes alcalinas e suítes kimberítico-lamproíticas. Dentre as suítes alcalinas com idade em torno de 80 Ma (Hasui & Cordani 1981 *apud* Governo do Estado de Minas Gerais, 1994), encontram-se as de Passa Quatro, Itatiaia e Ponte Nova, relacionadas ao Soerguimento Mantiqueira (Figura 2).

**Figura 2:** Geologia Regional

Fonte: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1981

(Escala 1:2.000.000)

Na região ainda afloram rochas metamórficas do Pré Cambriano, constituindo diferentes tipos de gnaisses, com xistosidade predominante entre N-NE, mergulhando para o sul de 20° a 80°. Segundo Ribeiro Filho, (1963) na maior parte da área estas rochas são de difícil observação, por se apresentarem com espesso manto de decomposição.

Em parte da escarpa sul do maciço de Passa Quatro, desde as proximidades de Engenheiro Passos a oeste até a estrada para Mauá, a leste, o contato das rochas alcalinas com o embasamento cristalino está coberto por sedimentos clásticos admitidos como pertencentes à Bacia de Resende. Estes sedimentos terciários possuem camadas avermelhadas, amareladas, ou ainda esverdeadas constituídas de argilitos, siltitos, arenitos conglomeráticos não consolidados e espessos depósitos de tálus com blocos chegando a superar os 100 m³.

A área de estudo está inserida no Maciço Alcalino de Passa Quatro que é constituído por rochas leucocráticas, fortemente insaturadas a saturadas em SiO_2 , de granulação principalmente fanerítica e subordinadamente afanítica.

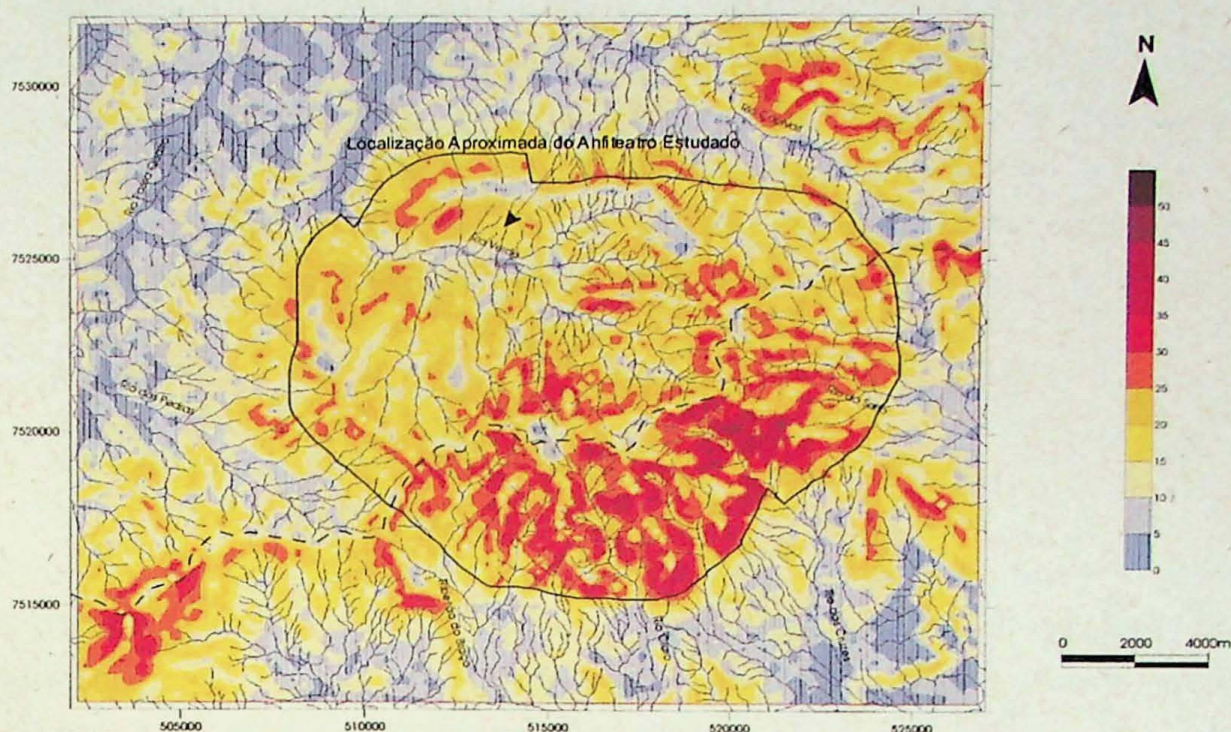
Os principais representantes das rochas faneríticas e do Maciço Alcalino de Passa Quatro em área de afloramento (80%) são os nefelina sienitos maciços de granulação e textura variadas (Figura 3), ocorrendo ainda neste grupo, sodalita nefelina sienitos laminados e nefelina microssienitos. O grupo das rochas afaníticas encontradas no maciço compreendem brechas magmáticas alcalinas, fonolitos, traquitos e lamprófiros (Chiessi 2004).

Penalva (1963) afirmou que o tipo petrográfico do Maciço Alcalino de Passa Quatro “é uniforme em quase toda a região, ou seja, um nefelina sienito de granulação centimétrica, rico em piroxênio, titanita e nefelina”.

O corpo alcalino apresenta contorno “elíptico”, com algumas irregularidades e eixo maior orientado segundo ENE-WSW a E-W Chiessi (2004) como pode ser observado na Figura 4 (linha preta contínua refere-se ao contorno aproximado do Maciço Alcalino de Passa Quatro). Ocupa uma área aproximada de 110 km², suas seqüências de elevações tem picos que se aproximam dos 2.500 m, principalmente na parte leste, onde se destacam o Pico dos Três Estados e o pico Cupim de Boi.



Figura 3: Esboço geológico do Maciço Alcalino de Passa Quatro. Coordenadas UTM



Fonte: Chiessi (2004)

Figura 4: Mapa de declividades, a coluna ao lado mostra a declividade em graus. A linha preta contínua refere-se ao contorno aproximado do Maciço Alcalino de Passa Quatro. A linha preta tracejada marca o divisor de águas da Serra da Mantiqueira.

A análise de lineamentos do Maciço Alcalino de Passa Quatro e das áreas adjacentes indica, segundo Chiessi (2004), a presença predominante das seguintes direções: E-W, ENE-WSW, N-S, NNW-SSE e NW-SE, sendo que os lineamentos presentes apenas no Maciço Alcalino de Passa Quatro apresentam três direções preferenciais, ENE-WSW, N-S e NW-SE, além de uma direção subordinada, NE-SW.

As direções E-W e NE-SW são coincidentes com a estruturação regional pré-cambriana dada pelas foliações metamórficas e por zonas de cisalhamento presentes nos litotipos encaixantes ao Maciço Alcalino de Passa Quatro.

O marcante destaque topográfico do maciço em relação às rochas do embasamento do seu entorno, deve-se à erosão diferencial entre os litotipos do maciço (mais resistentes) e do embasamento (mais suscetíveis à erosão). O vale do rio Verde encontra-se orientado segundo NW-SE, sendo o principal vale interno do maciço. Esta orientação deve-se ao controle tectônico da erosão ao longo de uma faixa de intersecção de importantes falhas orientadas segundo WNW-ESE (fase I), ENE-WSW e NNW-SSE (fase II), WNW-ESSE (fase IV). As fases aqui presentes representam três das quatro fases evolutivas que afetaram o maciço a partir do Cretáceo Superior até o Pleistoceno e encontram-se numeradas em função da sua ordem cronológica (Chiessi 2004).

Comparando-se a Figura 4 com a coluna de ângulos em graus localizada a sua direita, constata-se que em geral, o Maciço Alcalino de Passa Quatro possui declividades muito

acentuadas, sendo raros locais com valores inferiores a 10 graus. Ao longo da porção sul do maciço, encontram-se os valores de declividade mais elevados (>35 graus), coincidindo com a escarpa sul da serra da Mantiqueira. Valores relativamente menores de declividade (entre 25 e 10 graus) encontram-se distribuídos genericamente no restante do maciço.

Declividades de 5 a 10 graus são localizadas em alguns vales suspensos e entulhados na porção central do maciço, e em algumas cristas aplainadas na borda norte do maciço.

7. Métodos

7.1 Atividades de Escritório e de Campo

A primeira etapa do trabalho consistiu no levantamento bibliográfico e no tratamento dos dados que formam o conjunto de condições geológicas, geométricas, topográficas e feições erosivas da área estudada. Esses dados foram obtidos a partir de mapas geológicos, topográficos, geomorfológicos e outros.

Relatórios disponíveis também foram utilizados; além disso, verificaram-se índices pluviométricos da região com o intuito de se obter uma relação entre estes e as instabilizações ocorridas na área de interesse. Posteriormente, utilizando-se plantas existentes na empresa Itapura Engenharia, Geologia e Meio Ambiente Ltda, foram elaboradas seções topográficas perpendiculares a tubulação (Anexos II, III), o que permitiu uma melhor caracterização e visualização das encostas e taludes adjacentes.

A segunda etapa teve início com a investigação de superfície realizada durante a visita de inspeção ocorrida no dia 25 de abril de 2008, na área adjacente à tubulação adutora de baixa pressão inserida no sítio da CGH Lamins.

Foram visitados dois locais de instabilidade pertencentes a um anfiteatro (Anexo I), onde se constatou a ocorrência de corpo de tálus em relevo montano. Verificou-se que ao longo deste anfiteatro o conduto encontra-se deformado e suspenso na encosta (Fotos 1 e 2) devido a movimentação do corpo de tálus (Anexo III), além de apresentar-se rompido em outro trecho (Foto 3) junto a cicatrizes de escorregamentos (Anexo II). Um terceiro local foi visitado (Anexo I), sendo observada a existência de um bloco de rocha de corpo de tálus com aproximadamente 8 m de diâmetro localizado sobre a tubulação (Foto 4) (Anexo III).

O corpo de tálus apresenta heterogeneidade textural de arranjo de blocos rochosos, com solo aparentemente de alteração da própria rocha preenchendo os vazios existentes. Durante a visita não foram observadas surgências d'água no corpo de tálus, mas foi observada densa vegetação em sua área de ocorrência o que pode ter levado a uma dificuldade em visualizar tais ocorrências (Fotos 1 a 4).

Constatou-se também que grande parte da tubulação encontra-se encoberta pela densa vegetação típica dos campos de altitude (árvores e trepadeiras) (Foto 5), sendo ainda

confirmada a ocorrência de rastejo pela observação dos troncos inclinados das árvores próximas ao local estudado (Foto 6).

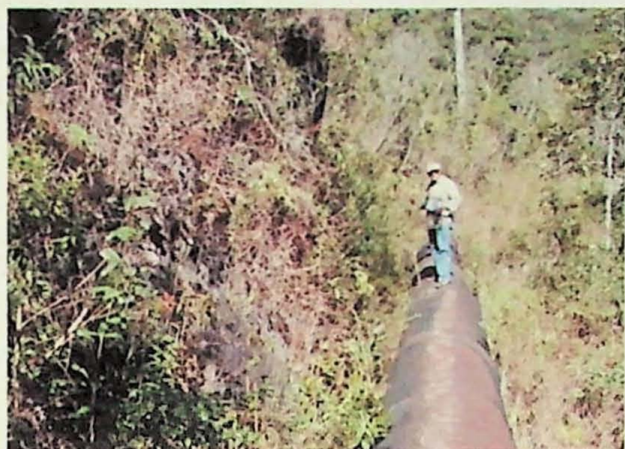


Foto 1: Conduto deformado.



Foto 2: Conduto suspenso na encosta.



Foto 3: Conduto rompido por movimentos de massa da encosta.



Foto 4: Bloco de rocha de corpo de tálus sobre o conduto.

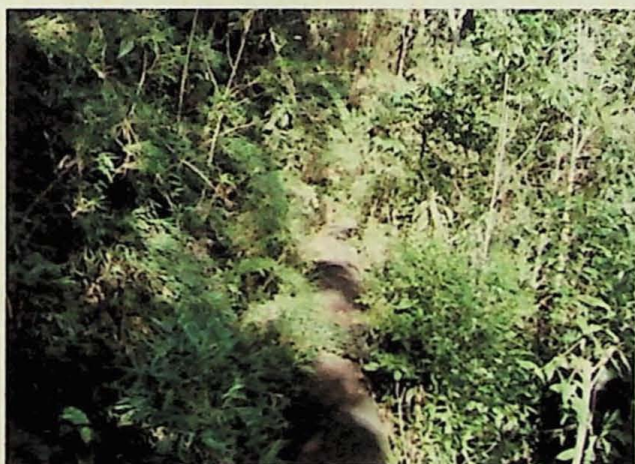


Foto 5: Vegetação típica dos campos de altitude.



Foto 6: Tronco de árvore inclinado por rastejo.

7.2 Amostragem

O solo coluvionar (amostra 1) de coloração vermelha escura (Fotos 7 e 8) foi coletado com auxílio de uma pá de pedreiro em talude de corte a partir de pelo menos 20 cm de profundidade, foi recolhido de um mesmo local 20 kg de amostra deformada a qual foi distribuída em três sacos plásticos de polietileno que foram cuidadosamente vedados. O termo solo coluvionar foi utilizado fundamentado em ABGE (1985) "solo formado pela deposição de partículas transportadas entre locais diferentes pela ação da gravidade".

A amostra indeformada de solo coletada (amostra 2), foi chamada neste trabalho de solo de alteração de rocha, que segundo ABGE (1985) é "um solo residual maduro com vestígios da estrutura da rocha e com eventuais matacões e lentes de rocha decomposta, este material constitui o horizonte inferior do solo, apoiado sobre a rocha decomposta ou alterada". O solo amostrado apresenta coloração branca acastanhada com manchas rosadas e praticamente não contém matéria orgânica.

Para que o solo se mantivesse indeformado, foi talhado cuidadosamente um cubo de aproximadamente 20 cm de aresta no fundo da escavação, depois este foi protegido com camadas de parafina fundida, papel alumínio e de talagarça entremeadas evitando-se assim a perda de umidade (Fotos 9 a 14), este procedimento foi realizado durante uma segunda visita a área de estudo no dia 20 de setembro de 2008.

O termo solo orgânico utilizado na legenda da Foto 9 foi baseado na descrição feita pela ABGE (1985) "solo transportado constituído por produtos de alteração de rochas misturados, de forma mais ou menos aparente, com materiais vegetais decompostos".

No trabalho de campo, constatou-se na área de estudo a expressiva presença de blocos de nefelina sienitos maciços rolados das partes mais altas do Maciço Alcalino de Passa Quatro. Como afloramentos *in-situ* não foram encontrados, optou-se por amostrar os blocos mais representativos do local de estudo, foram coletadas 3 amostras para realização da análise petrográfica. Os locais de coleta das amostras de solo e rocha podem ser vistos no Anexo I.

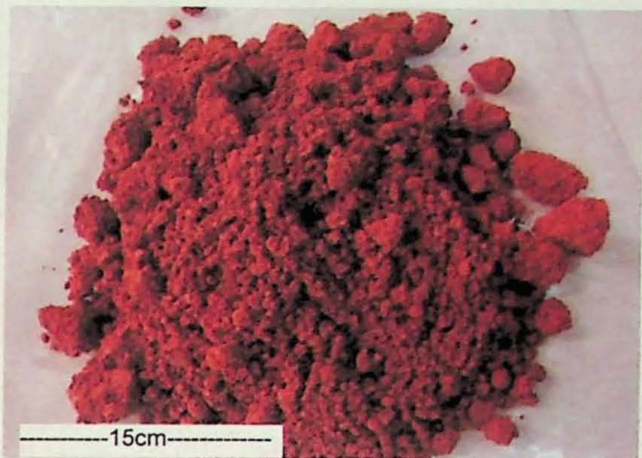


Foto 7: Local de coleta da amostra de solo **Foto 8:** Amostra deformada do solo coluvionar coluvionar deformada.



Foto 9: Local de coleta da amostra indeformada **Foto 10:** Cubo talhado com arestas de 20 cm. (solo orgânico acima do traço vermelho).



Foto 11: Proteção feita com papel alumínio.

Foto 12: Proteção feita com talagarça.

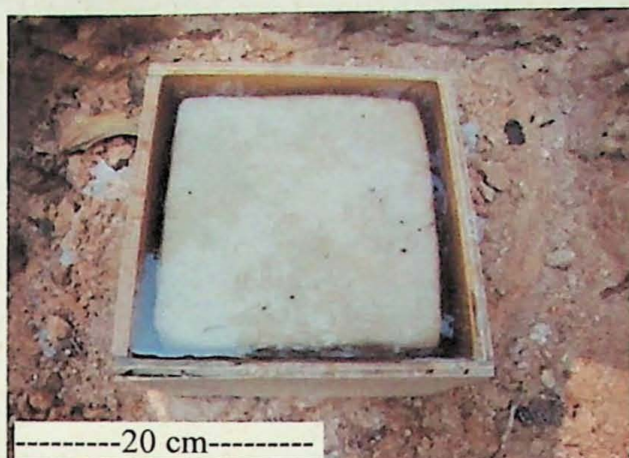


Foto 13: Proteção feita com parafina fundida e caixa de madeira.



Foto 14: Amostra indeformada de solo de alteração de rocha.

8. Procedimentos Analíticos

8.1 Análise Granulométrica

A preparação da amostra teve como base o método de ensaio à norma NBR 6457 da ABNT (1986). Antes de dar início à análise granulométrica, a amostra foi devidamente preparada, sendo submetida às seguintes etapas: secagem ao ar, desagregação dos torrões para homogeneização da amostra e por fim o quarteamento manual. Todas as etapas foram elaboradas no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Para a realização do quarteamento, inicialmente depositou-se todo o produto em uma superfície lisa e limpa onde foi feita uma homogeneização do mesmo. Em seguida utilizou-se uma régua para dividir o produto em quatro partes iguais, segundo um ângulo reto. Posteriormente, escolheram-se duas partes de dois ângulos opostos e desprezaram-se as outras duas. Juntaram-se as partes escolhidas, homogeneizando-as convenientemente; repartiu-se novamente com a régua e se fez o mesmo descarte; estas operações foram repetidas até se obter uma amostra homogênea para realização do ensaio.

A análise granulométrica realizada baseou-se na norma NBR 7181 da ABNT (1984a); a amostra foi passada na peneira de 2,0 mm, tomando-se a precaução de desmanchar no almofariz todos os torrões eventualmente ainda existentes. A parte retida na peneira de 2,0 mm foi lavada a fim de eliminar o material fino aderente e seca em estufa a 105°–110°C, até constância de massa. Utilizando-se o agitador mecânico, o material foi passado nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8 e 2,0mm, sendo anotadas as respectivas massas.

Do material passado na peneira de 2,0 mm tomou-se cerca de 70 g de solo para a sedimentação e o peneiramento fino. Este material foi pesado com resolução de 0,01 g. Tomou-se ainda cerca de 100 g para três determinações de umidade higroscópica.

O material assim obtido foi transferido para um béquer de 250 cm³, sendo misturado com auxílio de proveta ao defloculante hexametáfosfato de sódio. O béquer foi agitado até que todo o material ficou imerso, sendo deixado em repouso, por aproximadamente 24 horas.

A mistura foi vertida no copo de dispersão e posteriormente adicionou-se água destilada até a hélice ficar imersa. Em seguida, a amostra foi deixada à ação do aparelho dispersor da marca Solotest de 9000 rpm por cerca de 10 minutos.

Transferiu-se a amostra para a proveta, sendo adicionada água destilada até atingir 1000 cm³. Em seguida, a boca da proveta foi tampada e foram feitos movimentos de rotação durante 1 minuto, de tal forma que a boca da proveta passou de cima para baixo e vice-versa.

Imediatamente depois de terminada a agitação, a proveta foi colocada sobre a mesa, anotou-se a hora exata do início da sedimentação e mergulhou-se cuidadosamente o densímetro na dispersão. Foram efetuadas leituras do densímetro correspondentes aos tempos de sedimentação de 0,5, 1, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 8, e 24 horas a contar do início da sedimentação, sob temperatura constante.

Realizada a última medida, o material da proveta foi passado na peneira de 0,075 mm, sendo realizada lavagem do material na peneira mencionada, empregando-se água potável à baixa pressão.

Por fim, o material retido na peneira de 0,075 mm foi seco em estufa à temperatura de 105°–110° C até constância de massa. Utilizando-se o agitador mecânico, o material foi passado nas peneiras de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15, 0,075 mm.

Todos os dados obtidos foram digitados em planilha eletrônica elaborada no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que calcula a curva granulométrica.

8.2 Ensaio de Densidade Real

Com resolução de 0,01 g cerca de 50 g de solo foi pesado, imediatamente tomou-se 2 amostras do restante deste material para determinação da umidade pelo processo da estufa.

A amostra utilizada para ensaio foi colocada na cápsula de porcelana, em seguida, adicionou-se água destilada em quantidade suficiente para completa imersão do material durante aproximadamente 12 horas.

Depois do período de imersão a amostra foi transferida para o copo de dispersão e a cápsula foi lavada com água destilada para completa remoção do material, evitando-se assim possíveis perdas de solo; a dispersão durou cerca de 15 minutos.

Com auxílio de um funil, a amostra foi transferida para o picnômetro acrescentando-se água destilada até cerca da metade do volume do mesmo. Em seguida foi aplicado vácuo com cerca de 90 KPa durante 15 minutos.

Adicionou-se água destilada até 1 cm abaixo da base do gargalo e novamente aplicou-se pressão de vácuo por 15 minutos. Posteriormente foi acrescentada água destilada até 1 cm abaixo da marca de calibração do picnômetro que logo após foi deixado em repouso até sua temperatura entrar em equilíbrio com a temperatura ambiente.

Tomando-se o cuidado de enxugar a parte externa do picnômetro e a parte interna do gargalo, o conjunto foi pesado. Os valores assim obtidos foram colocados na planilha desenvolvida pelo Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

A planilha utiliza a seguinte fórmula para cálculo da densidade real:

$$\delta = M_s / (M_s + M_3 - M_2)$$

Onde:

δ = densidade dos grãos do solo;

M_0 = massa úmida em gramas;

M_s = massa da amostra seca em gramas, obtida por $M_s = 100 M_0 / (100 + h)$;

M_2 = massa do picnômetro em gramas com solo e água até a marca, na temperatura T de ensaio;

M_3 = massa do picnômetro com água em gramas até a marca, na temperatura T de ensaio;

h = umidade da amostra seca ao ar

8.3 Determinação do Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e do Índice de Plasticidade

De uma amostra previamente preparada de acordo com a norma NBR 6457 da ABNT (1986) (seca ao ar, destorroada, homogênea), separou-se por quarteamento do tipo Jones uma quantidade de amostra suficiente para que mesmo depois de passada na peneira 40 mesh (0,42 mm) ainda fosse possível a execução dos ensaios de determinação do limite de liquidez e do limite de plasticidade.

O ensaio de determinação do limite de liquidez amparou-se na norma NBR 6459 da ABNT (1984b). Inicialmente, a amostra foi colocada em uma bacia de porcelana. Em seguida adicionou-se água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo a amostra com auxílio de uma espátula de tal forma que se obtivesse uma pasta homogênea.

Segurando a concha em uma das mãos, transferiu-se parte da mistura para a concha, moldando-a de forma que na parte central a espessura ficasse na ordem de 10 mm e

tomando-se o cuidado para evitar a formação de bolhas de ar. Então, a massa de solo foi dividida em duas partes, passando o cinzel através da mesma, abrindo assim uma ranhura em sua parte central.

Em seguida, a concha foi cuidadosamente recolocada no aparelho e deixada cair em queda livre, sendo desta forma golpeada contra a base. A manivela foi girada a uma razão de duas voltas por segundo, sendo então anotado o número de golpes necessário para que as bordas inferiores da ranhura se unissem ao longo de aproximadamente 13 mm de comprimento.

Transferiu-se imediatamente uma pequena quantidade do material de junto das bordas unidas para um recipiente adequado e determinou-se a umidade, conforme a norma NBR 6457 da ABNT (1986).

O restante da massa foi transferida para a bacia de porcelana. A concha e o cinzel foram lavados e enxugados para que toda operação pudesse ser realizada outra vez, sendo que todo este processo foi repetido por cinco vezes.

Para a determinação do limite de plasticidade, fundamentou-se toda a análise na norma NBR-7180 da ABNT (1984c). Primeiramente, a amostra foi colocada em uma bacia de porcelana, sendo então adicionada água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente com a espátula, de tal forma que se obtivesse uma pasta homogênea, de consistência plástica.

Por se tratar de um solo argiloso, o procedimento para se obter esta massa homogênea é mais longo quando comparado com solos não argilosos, tendo durando aproximadamente 30 minutos.

Concluída a homogeneização do solo, tomou-se cerca de 10 g da amostra assim preparada e com os dedos formou-se uma pequena bola que foi rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar forma de cilindro.

Enquanto a amostra se fragmentou antes de atingir o diâmetro de 3 mm, esta foi retornada à bacia de porcelana sendo então adicionada água destilada para ser novamente homogeneizada durante pelo menos 3 minutos e coletada novamente uma massa de aproximadamente 10 g para a elaboração do cilindro.

Quando a moldagem do cilindro com as dimensões mencionadas foi conseguida, caracterizou-se que o solo estava no estado plástico. Então a esfera foi refeita e repetiu-se a rolagem até que ocorresse fragmentação do cilindro com dimensões próximas às do gabarito de comparação.

Transferiram-se imediatamente as partes fragmentadas para um recipiente adequado, sendo determinada a umidade pelo método da estufa baseado na norma NBR 6457 da ABNT (1986). Foram obtidos três valores de umidade que não diferiram mais que 5% de sua respectiva média.

8.4 Umidade Natural

O primeiro passo foi pesar a amostra com sua umidade preservada em uma balança da marca Mykro com precisão de 0,1g, posteriormente a amostra foi seca em estufa a 110°C, até constância do seu peso, sendo então novamente pesada. Este procedimento se baseou na norma NBR 6457 da ABNT (1986).

A umidade natural é igual ao valor do peso de água dividido pelo peso seco da amostra, que é multiplicado por 100 para que se possa obter o resultado em porcentagem.

8.5 Ensaio de Compressão Simples

Foram extraídos três corpos de prova da amostra indeformada de solo de alteração de rocha (amostra 2) para realização do ensaio de compressão simples. Os corpos de prova foram moldados de modo que suas alturas ficassem em torno de 9 cm e seus diâmetros com aproximadamente 3,57 cm de acordo com o modelo existente no laboratório (Foto 15); para dimensionamento da altura foi utilizado um berço de moldagem feito em madeira, o diâmetro foi delimitado com um torno manual. Para efeito de cálculo, foram utilizados os valores da média aritmética de 4 valores obtidos para a altura e mais 3 para o diâmetro; esses valores foram checados com auxílio de um paquímetro.

O ensaio de compressão simples foi realizado em uma bancada triaxial, com anel dinamométrico de capacidade máxima igual a 100 kg (Foto 16). Antes de dar início ao ensaio, o corpo de prova foi pesado em uma balança com precisão de 0,01 g, também foram separadas duas amostras para determinação da umidade natural conforme já descrito no item 8.4.

O corpo de prova foi submetido a uma velocidade de deformação de 20 mm a cada 8 minutos, esta velocidade relativamente alta foi escolhida para que se mantivesse a umidade natural do material estudado. Após a ruptura, o material foi colocado em uma estufa a 110°C por aproximadamente 24 horas e novamente pesado para que se obtivesse a umidade final do corpo ensaiado e assim fosse possível verificar se a umidade final variou em relação a umidade natural.

Todos os dados assim obtidos foram digitados em planilha eletrônica elaborada no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, esta planilha forneceu os valores da densidade do solo seco, densidade do solo úmido, índice de vazios, grau de saturação inicial e o gráfico de tensão (KPa) por deformação axial (%).



Foto 15: Modelo de corpo de prova existente no laboratório.



Foto 16: Corpo de prova rompido no ensaio de compressão simples.

8.6 Petrografia

Seções delgadas polidas foram elaboradas para 3 amostras representativas da área, essas amostras foram descritas e fotografadas ao microscópio óptico. As lâminas delgadas foram elaboradas pela Seção de Laminação do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de São Paulo (USP).

As descrições petrográficas foram realizadas no Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica (Sala 108) do GMG-IGc-USP, utilizando-se para esta tarefa um microscópio de marca Olympus, modelo BX40, de luz transmitida. As fotomicrografias foram efetuadas em microscópio modelo Zeiss Axioplan 2 do Laboratório de Petrografia Sedimentar do IG – USP, foi também utilizado o programa Leica Qwin 550 durante esta etapa do trabalho.

9. Desenvolvimento do Trabalho

9.1 Atividades Realizadas no Período

Foram realizados levantamentos bibliográficos através de pesquisa pela *internet* e principalmente bibliotecas da USP sobre instabilidades em encostas, geologia regional do Maciço Alcalino de Passa Quatro e observações geológicas-geotécnicas feitas em locais que apresentam estas características semelhantes a do local de estudo.

Relatórios existentes na empresa Itapura foram pesquisados, conseguindo-se aí os dados pluviométricos da região e as planialtimetrias utilizadas durante a elaboração dos perfis ortogonais à tubulação.

Realizou-se ainda trabalho de coleta de solo e rocha, conforme o procedimento descrito no item de métodos. Quanto à parte analítica do trabalho, foram executadas para as rochas análises petrográficas e para os solos análises granulométricas, ensaios de

densidade real, determinação dos limites de liquidez, limites de plasticidade, índices de plasticidade e a determinação da umidade natural; para a amostra indeformada, ainda foram realizados ensaios de determinação do índice de vazios e resistência a compressão simples.

9.2 Dificuldades Encontradas

Na revisão bibliográfica, constatou-se a carência de trabalhos geotécnicos realizados em solos e rochas de proveniência alcalina. Os trabalhos dos quais se teve notícia pertencem a empresas particulares e são de circulação restrita. Este fato fez com que a fundamentação bibliográfica fosse elaborada principalmente com trabalhos similares no que se refere a problemas geotécnicos, porém desenvolvidos sob diferentes litologias e clima.

Durante a visita realizada a CGH Lamins, não foi possível alcançar dois dos quatro pontos de estudo devido à impossibilidade de se conseguir autorização no dia da visita para realização de vistoria dentro da área particular.

Visitaram-se então os dois pontos que apresentam ruptura de talude e um terceiro onde se constatou a existência de talude negativo devido a um grande bloco de rocha alcalina em corpo de tálus, sendo, portanto excluídos do trabalho os outros dois pontos que apresentam problemas de drenagem em talvegues.

Inicialmente tinha-se a pretensão de recolher amostra indeformada para os dois principais tipos de solos observados na altitude de 1300 m (coluvionar e de alteração de rocha) com o objetivo de estimar a resistência que estes solos apresentam a compressão simples. No entanto, o solo coluvionar se encontrava em local de difícil extração quando em talude devido à grande declividade que dificultava a abertura do espaço necessário à retirada da amostra indeformada, sendo que em outros locais de acesso mais fácil ele apresentava-se muito rijo.

A dificuldade para realização da extração da amostra indeformada de solo coluvionar se deu principalmente pela falta de recursos financeiros necessários a contratação de pessoas e transporte das amostras, diante dessas dificuldades optou-se por retirar apenas amostra indeformada do solo de alteração de rocha.

Outra dificuldade se deu diante da inexistência de afloramentos *in-situ* nos pontos estudados; foram retiradas então amostras apenas de blocos rolados para caracterização dos principais litotipos existentes na área.

10. Resultados Obtidos

10.1 Classificação Segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos

Como a fração argila pode diferenciar amplamente nas suas propriedades físicas, a classificação apenas pela granulação é inadequada quando se contém finos, especialmente a argila. Portanto, optou-se nesse trabalho por utilizar o Sistema Unificado de Classificação de Solo (SUCS), pois este leva em conta os limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) associados à granulometria.

Nesta classificação, os solos são agrupados em 15 grupos, representados por duas letras, da seguinte forma:

solos grossos: GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, SC

solos finos: CL, ML, OL, CH, MH, OH, PT

Sendo o significado da primeira letra: G - pedregulho; S - areia; C - argila; M - silte; O - Orgânico; PT - turfa. O significado da segunda letra para solos grossos é: W - bem graduado, P - mal graduado; M - silte; C - argila, para solos finos (indicando plasticidade) é: L para baixa plasticidade e H para alta plasticidade.

Segundo o SUCS, para classificação de solos finos, ou seja, solos com mais de 50% passante na peneira de 0,074mm, há necessidade de se utilizar a carta de plasticidade. Como as amostras apresentaram mais de 50% de solo passado na peneira de 0,075mm (Figura 5), além do ensaio de granulometria, realizaram-se ensaios para determinação nas duas amostras do Limite de Liquidez (Figura 6 e 7), Limite de Plasticidade (36,0% para amostra 1 e 33,3% para amostra 2) e Índice de Plasticidade (22,5% para amostra 1 e 7,6% para a amostra 2). A partir dos resultados obtidos, a amostra 1 foi classificada com base na carta de plasticidade como MH (silte elástico) e a amostra 2 como ML (silte de baixa plasticidade) (Figura 8).

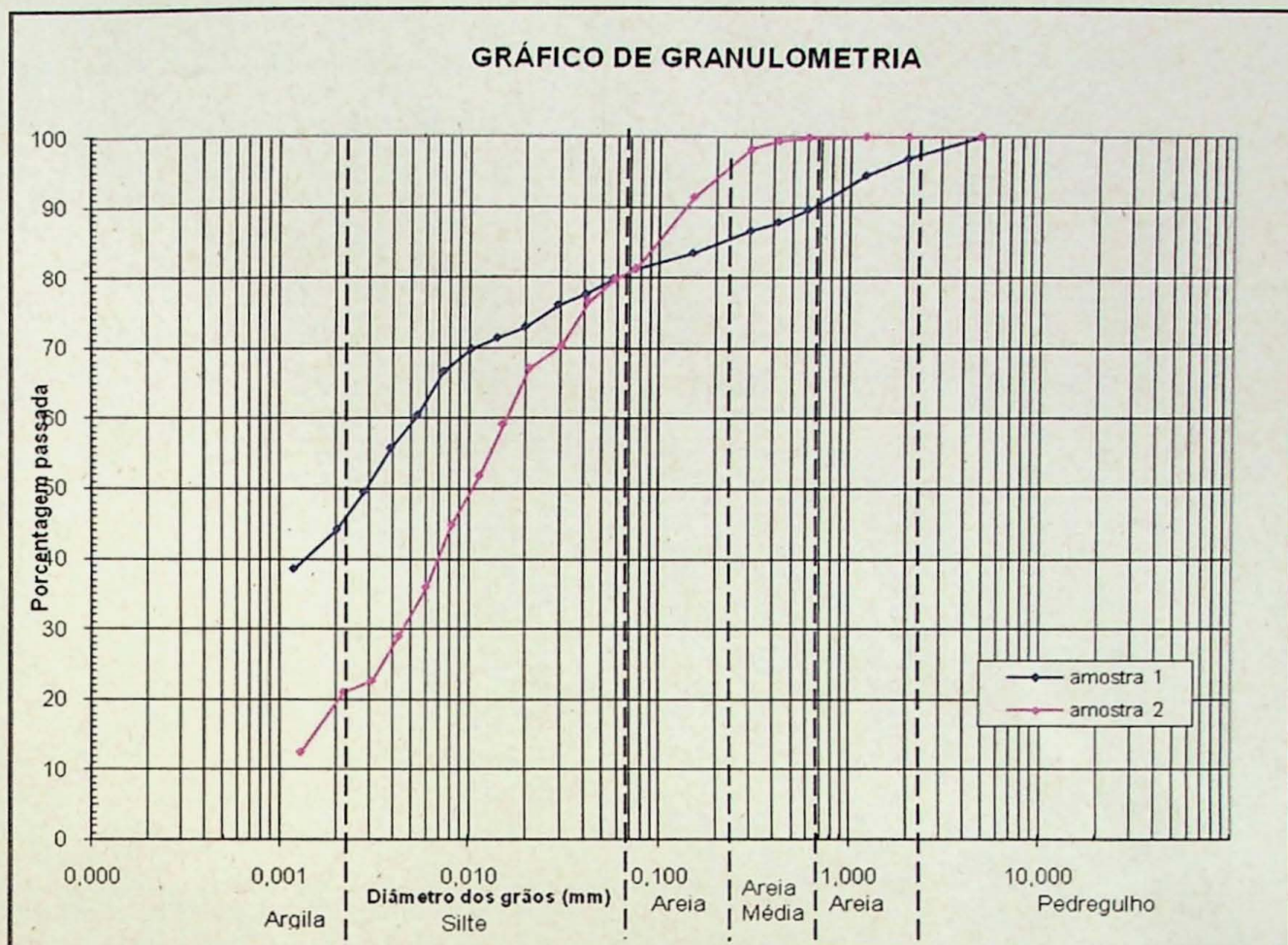


Figura 5: Curva Granulométrica

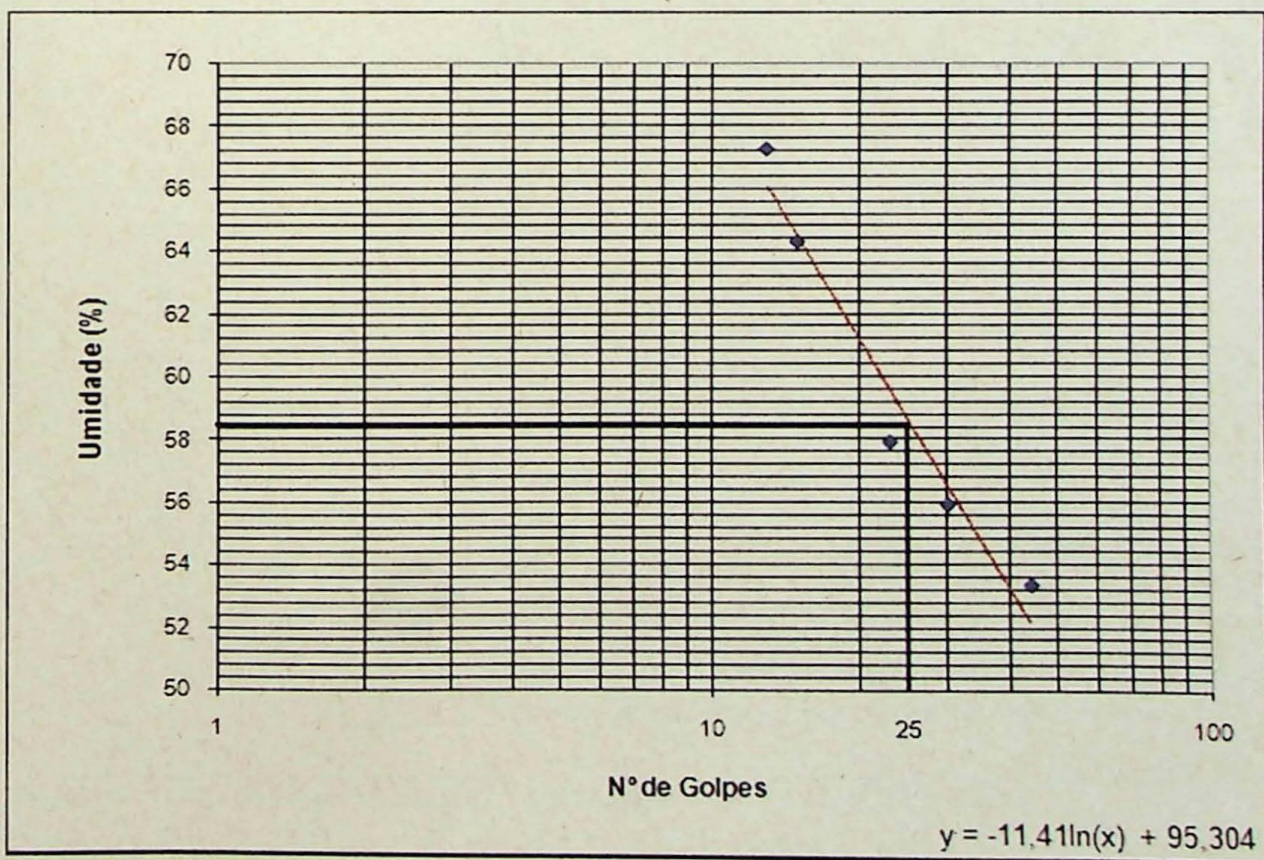


Figura 6: Limite de liquidez da amostra 1

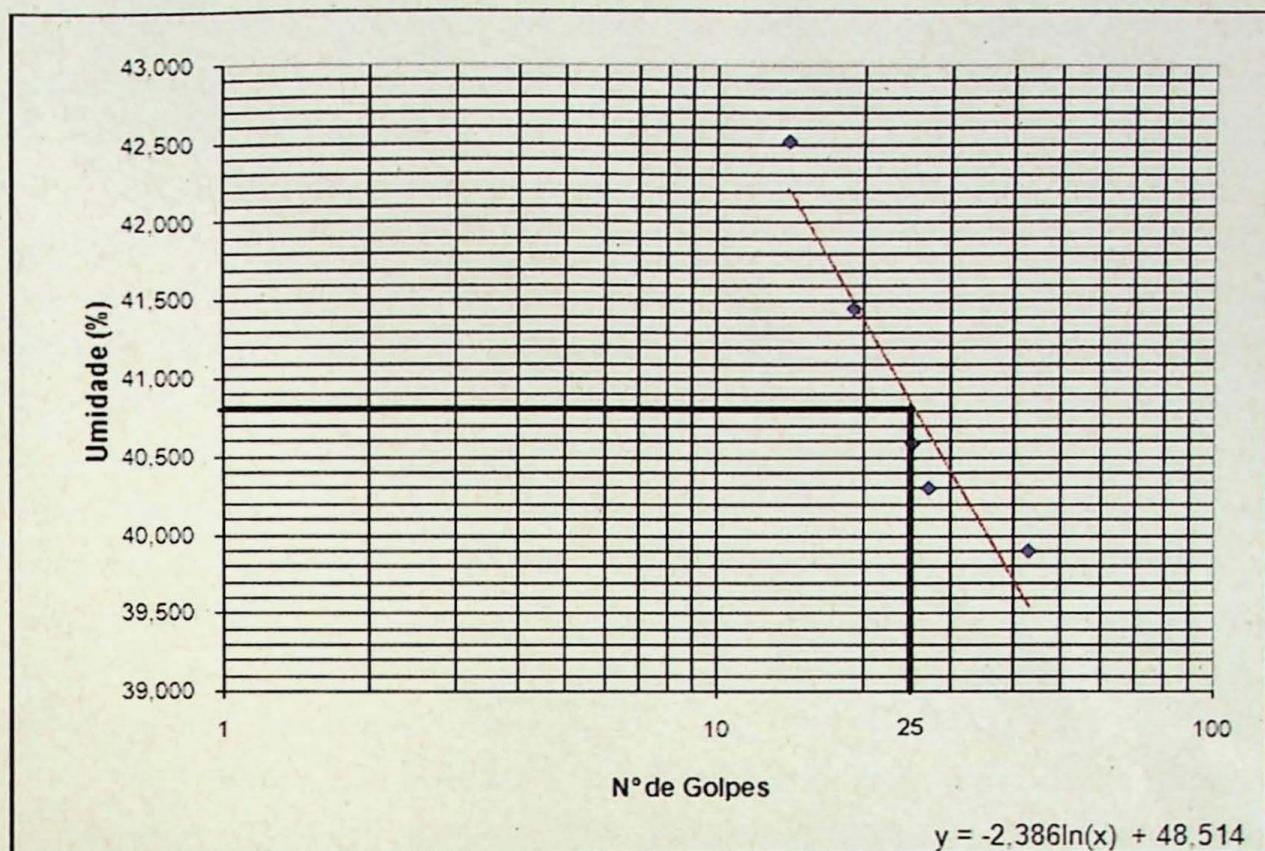


Figura 7: Limite de liquidez da amostra 2

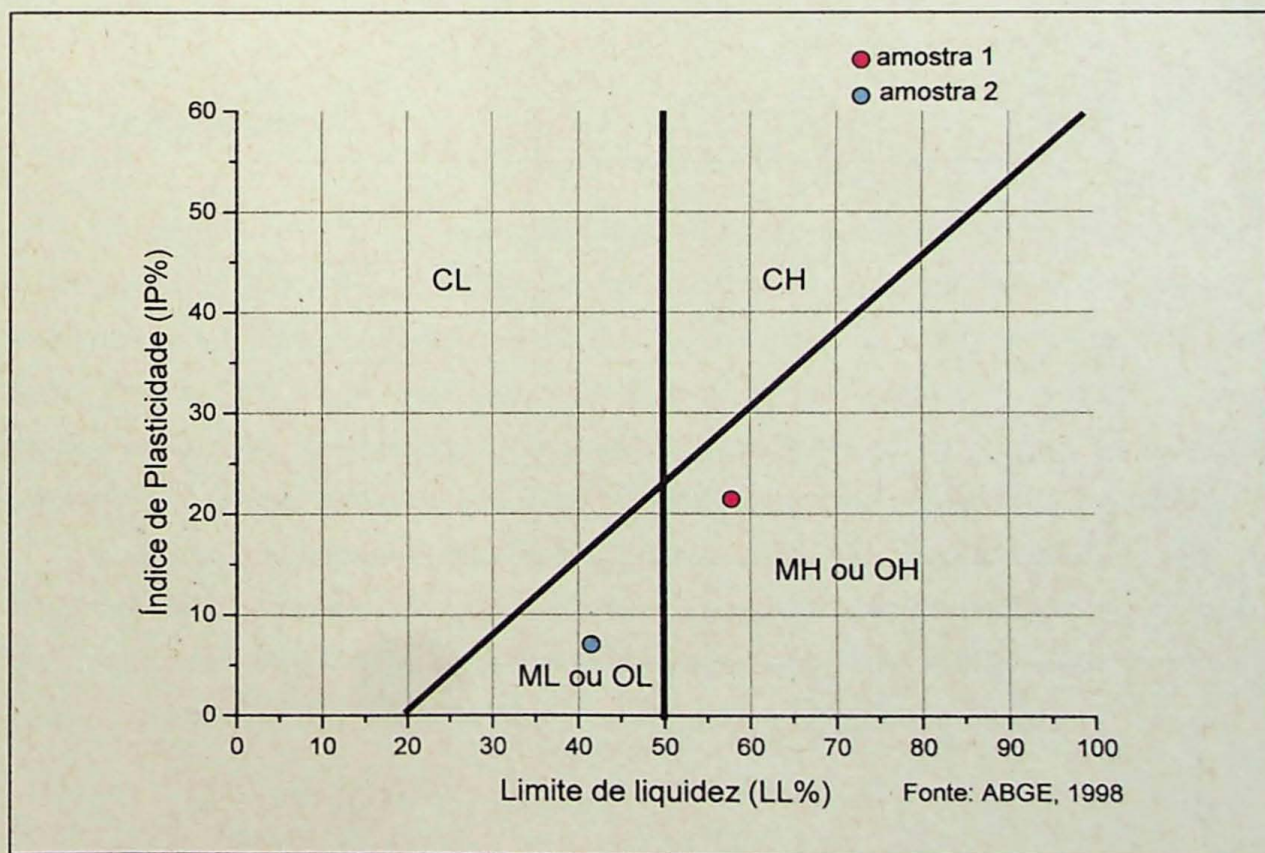


Figura 8: Carta de plasticidade para classificação de solos finos pelo SUCS

Com as curvas granulométricas (Figura 5) construídas a partir dos resultados dos ensaios foi possível determinar com base nos diâmetros dos grãos as porcentagens de argila, silte e areia para as amostras 1 e 2. A amostra 1 apresenta aproximadamente 44% de argila, 37% de silte, 5% de areia, 4% de areia média, 7% de areia grossa e 3% de pedregulho. A amostra 2 possui perto de 21% de argila, 59% de silte, 15% de areia, 5% de areia média.

A fração grosseira (>2 mm) encontra-se presente apenas no solo mais evoluído de cor vermelha (amostra 1). Segundo o Professor Dr. Joel Barbujani Sigolo do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo isto deve ocorrer devido à presença dos minerais de hematita e goethita neste solo (amostra 1) e o mineral gibbissita no solo menos evoluído (amostra 2). Ao realizar o procedimento de lavagem do material retido na peneira de 2 mm durante a análise granulométrica, a gibbissita passa pela peneira ou obstruí a malha da mesma, por isso foi considerada como passante na peneira de 2 mm enquanto que o mesmo não ocorria com os minerais de hematita e goethita que ficavam retidos na peneira.

Como característica complementar dos solos finos (solo com mais de 50% passante na peneira de 0,074mm), o SUCS indica sua compressibilidade. Os solos costumam ser mais compressíveis quanto maior for o seu Limite de Liquidez, se superior a 50% como é o caso da amostra 1 o solo é considerado de alta compressibilidade e sujeito a recalques, se inferior como a amostra 2 é de baixa compressibilidade.

10.2 Densidade Real

Os valores obtidos com o ensaio de densidade real encontram-se expostos na Tabela 2. Segundo o roteiro de aulas práticas do professor doutor Erico Sengik encontrado no site www.dzo.uem.br/disciplinas/Solos/pratica.doc, nos solos o valor da densidade real varia entre 2,30 e 2,90 g/cm³. Seu valor médio, para efeito de cálculos, é de 2,65 g/cm³, isto porque os constituintes minerais predominantes nos solos são o quartzo, os feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades reais estão em torno de 2,65 g/cm³.

Como se pode observar na Tabela 2, os valores obtidos para densidade real das duas amostras encontram-se dentro do intervalo esperado, aproximando-se do valor sugerido para efeito de cálculo, os valores obtidos neste ensaio foram utilizados na determinação da granulometria dos finos e são de fundamental importância para a análise.

Tabela 1: Densidade real expressa em (g/cm³)

Massa em gramas	Amostra 1	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 2
(M0) Solo úmido (g)	46,85	47,6	42,91	45,83
(MS) Solo seco	45,62	46,35	41,16	43,96
(M3) Picnômetro + Água	1219,9	1219,5	1217,4	1210,8
(MS) + (M3)	1265,52	1265,85	1258,56	1554,76
(M2) Picnômetro+Água+Solo	1248,54	1248,54	1243,08	1238,4
(MS)+(M3)-(M2)	16,98	17,31	15,48	16,36
Densidade dos grãos (g/cm ³)	2,687	2,678	2,659	2,687

10.3 Umidade Natural

Segundo Pinto (2006), a determinação da umidade natural é a operação mais freqüente em um laboratório de solos. Os teores de umidade dependem do tipo de solo e situam-se geralmente entre 10% e 40%, podendo ocorrer valores muito baixos (solos secos) ou muito altos (150% ou mais). A umidade natural é a relação entre o peso da água e o peso dos sólidos; é expressa pela letra (w) e encontra-se na Tabela 1.

Como se pode observar na tabela abaixo, o valor da umidade encontra-se dentro dos limites estipulados por Pinto (2006) como comuns. O ensaio se faz importante, pois influencia diversos índices físicos necessários a identificação do estado do solo, como por exemplo o grau de saturação da amostra e o índice de vazios.

Tabela 2: Dados obtidos para determinação da umidade natural

Massa em gramas	Amostra 1	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 2
Massa úmida	959,2	947,2	32,97	41,92
Massa seca	718,7	703,25	25,53	32,39
Massa de água	240,5	239,2	7,44	9,53
Base seca (w%)	33,46	34,01	29,14	29,42

10.4 Compressão Simples

Durante o ensaio de compressão simples realizado foi obtido o índice de vazios (ϵ) e a umidade natural (w) do corpo de prova extraído da amostra 2, que juntamente com a densidade dos grãos (γ_w) determinada durante o ensaio granulométrico permitiu o cálculo do grau de saturação da amostra pela fórmula $S = (\gamma_s \cdot w) / (\epsilon \cdot \gamma_w)$, os valores determinados durante o ensaio de compressão simples se encontram na Tabela 3.

Tabela 3: Valores determinados para a amostra durante ensaio de compressão simples

	Grau de saturação(%)	Índice de vazios	Umidade natural(%)	Densidade natural (g/cm ³)
Corpo de prova 1	59	1,333	29,28	1,481
Corpo de prova 2	61	1,231	28,08	1,534
Corpo de prova 3	59	1,323	29,3	1,488
Média	59,67	1,3	28,89	1,501

Segundo Pinto (2006) o grau de saturação representa a relação entre o volume de água e o de vazios, varia de 0 (solo seco) a 100% (solo saturado). O solo referente à amostra 2 apresentou um grau de saturação médio de 59,67%, portanto o solo na área encontra-se parcialmente saturado.

O ensaio de compressão simples foi realizado com o objetivo de sugerir um valor aproximado da resistência a compressão do solo de alteração de rocha encontrado nas proximidades da área de estudo além de estabelecer a altura crítica para um talude de corte que possa vir a ser feito no solo de alteração de rocha.

Ao comparar o gráfico da Figura 9 com o gráfico da Figura 10 constatou-se que quanto menor o índice de vazios maior é a resistência do corpo de prova, no entanto, a julgar pelos índices de vazios, o valor máximo de resistência alcançado pelo corpo de prova 1 deveria se encontrar mais próximo do valor máximo de resistência do corpo de prova 3, aparentemente isso não ocorreu devido a existência de matéria orgânica observada durante o ensaio do corpo de prova 1, esta matéria orgânica provavelmente influenciou negativamente nos valores de resistência do corpo de prova 1.

Diante do exposto acima e com base na Figura 10, pode-se presumir que o valor mais próximo para a resistência a compressão simples do solo de alteração de rocha (sem interferências externas) é de aproximadamente 187,3 KPa; este valor foi obtido sem levar em conta o ensaio realizado no corpo de prova 1. No entanto, para efeito de cálculo, serão considerados os valores encontrados para o corpo de prova 1, pois esta influência da matéria orgânica deve ajudar a obter um valor mais próximo da realidade de campo; a média da resistência para os três corpos de prova foi de 170,5 KPa.

Uma tentativa de se calcular a altura crítica para um talude de corte pode ser feita utilizando-se a fórmula apresentada por Terzaghi (1948), esta fórmula utiliza valores obtidos durante o ensaio de resistência a compressão simples, considera o ângulo interno de atrito igual a 0 e considera uma declividade de 90° para o talude.

A fórmula é apresentada a seguir:

$$H_c = \frac{2C}{\gamma}$$

Onde:

H_c = altura crítica

C = coesão obtida por, $C = R/2$

γ = densidade natural

R = resistência a compressão simples

O resultado obtido para a altura crítica, utilizando a fórmula e a média dos 3 valores de resistências encontrados, foi de 11,38 metros de altura, importante deixar claro que para um talude de corte vertical romper nestas condições, bastaria, por exemplo, um pequeno aumento no seu grau de saturação.

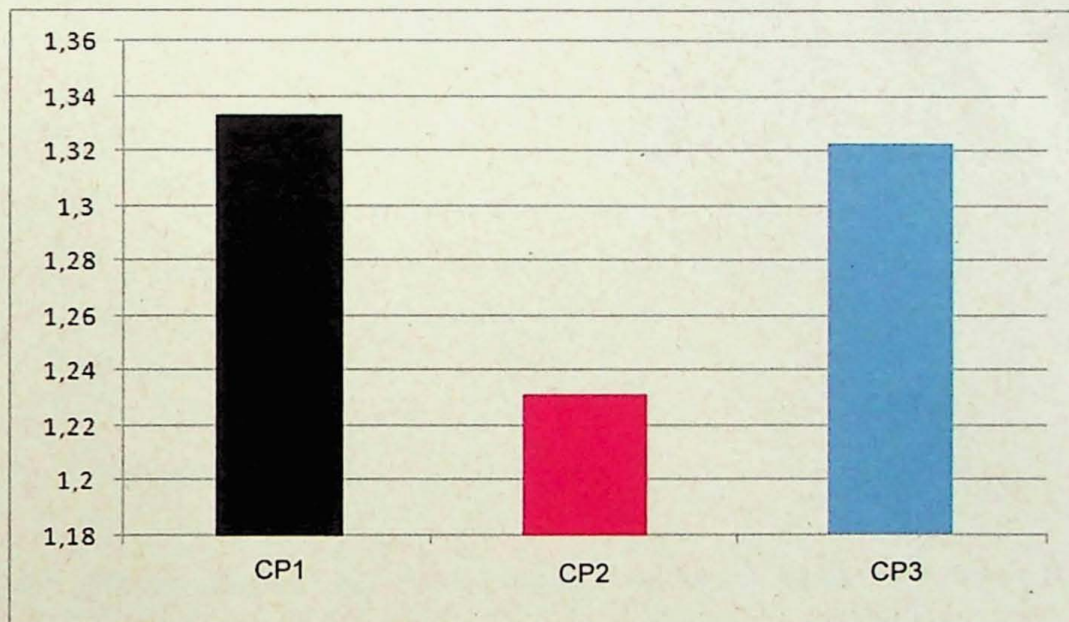


Figura 9: Representação gráfica do índice de vazios referente aos corpos de prova 1, 2 e 3 extraídos da amostra 2.

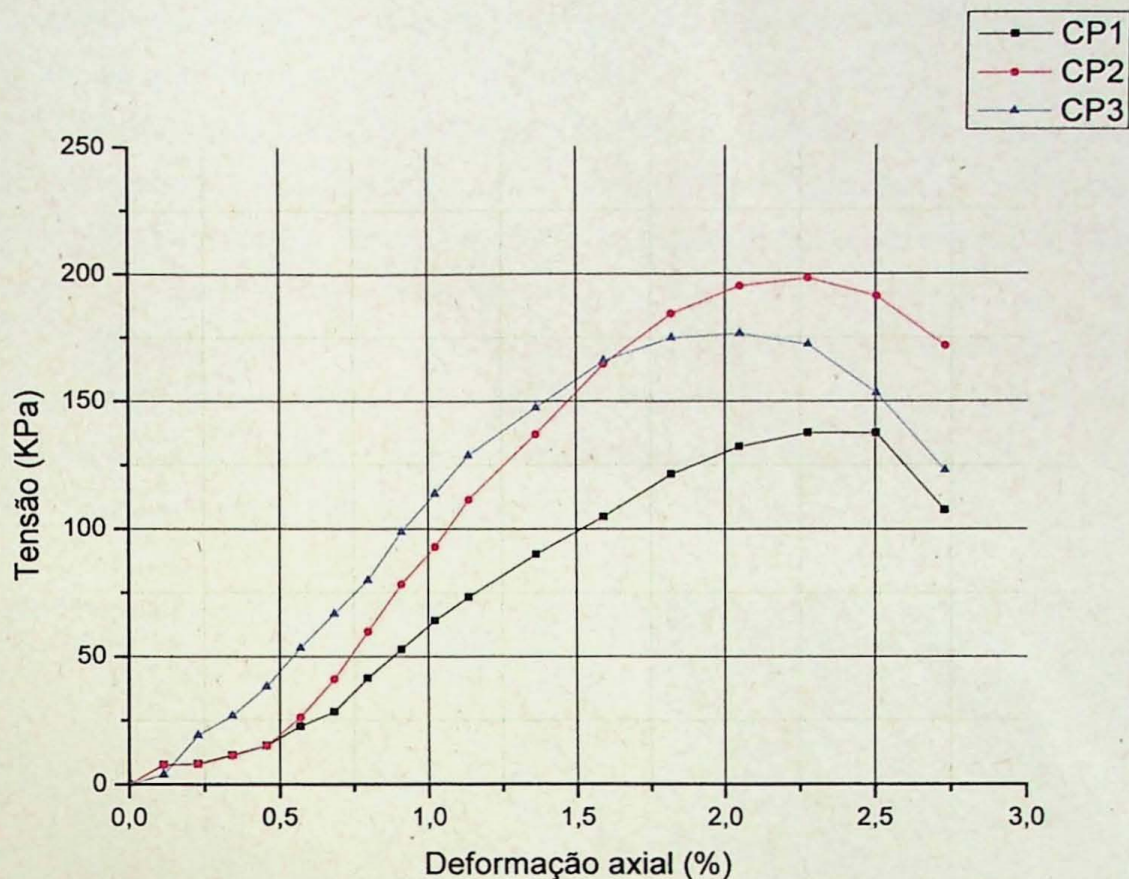


Figura 10: Representação gráfica dos dados obtidos durante ensaio de compressão simples da amostra 2 com valores apresentados em porcentagem para deformação axial e KPa para tensão.

10.5 Petrografia

Os nefelina sienitos encontrados na área de trabalho são de estrutura maciça e textura inequigranular de granulação variando de média a grossa. Sua cor característica é cinza devido à cor clara de feldspatos e nefelinas (Fotos 17 e 18).

Ao microscópio os nefelina sienitos cinzas compõem-se de uma associação de minerais formados principalmente por feldspato alcalino (60 a 70% em volume), ocorrendo subordinadamente nefelina e sodalita como minerais félsicos (10 a 25% em volume), como representante dos minerais máficos observou-se os clinopiroxênios, anfibólios e biotitas (10% a 25% em volume).

Os grãos de feldspato alcalino aparecem alterados variando de xenomórfico até idiomórfico (Fotos 19 e 20). Muitas vezes se encontra geminado segundo a lei de Carlsbad, e a julgar pelas suas feições ópticas, se trata de ortoclásio. Nefelina é xenomórfica a subidiomórfica, contendo por vezes inclusões de piroxênio. Aparece geralmente inalterada (Fotos 19 e 20), e quando alterada é substituída pela cancrinita.

Clinopiroxênios (aegirina-augita) ocorrem como grãos xenomórficos a subidiomórficos, com dimensões de 0,2 a 5 mm. Apresentam geralmente inclusões de titanita e mais

raramente de apatita. Em algumas das amostras são zonados, tendo cor verde acastanhado no núcleo e verde escuro na borda (Foto 21).

Biotita e anfibólio aparecem principalmente substituindo os clinopiroxênios (Foto 22). Os minerais de biotita apresentam-se variando de xenomórficos a subidiomórficos com cor marrom e pleocroísmo fraco. O anfibólio apresenta tonalidades que variam de verde azulado a marrom, com pleocroísmo significativo.

Titanita, apatita, opacos e zircão são os minerais acessórios mais comuns da rocha. Dentre os minerais tardi ou pós-magmáticos aparece a cancrinita como produto de alteração da nefelina. Os minerais opacos ocorrem provavelmente devido ao acúmulo de ferro gerado pela reação do clinopiroxênio com a biotita e o anfibólio.



Foto 17: Nefelina sienito cinza

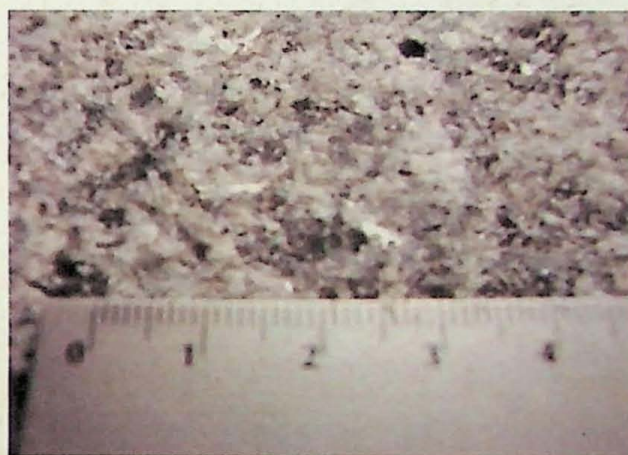


Foto 18: Nefelina sienito cinza

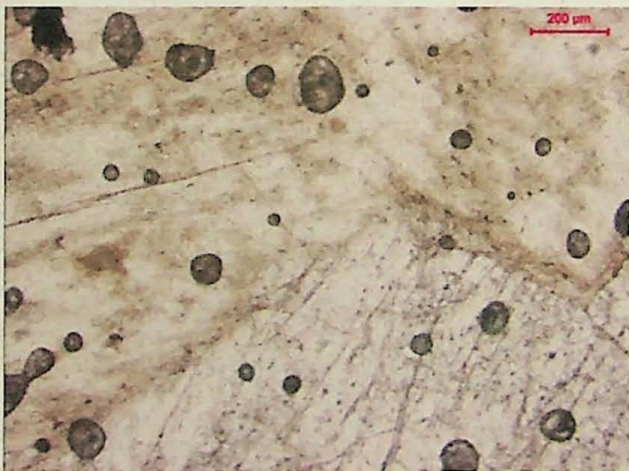


Foto 19: Contato entre a nefelina e o feldspato (feldspato encontra-se alterado).

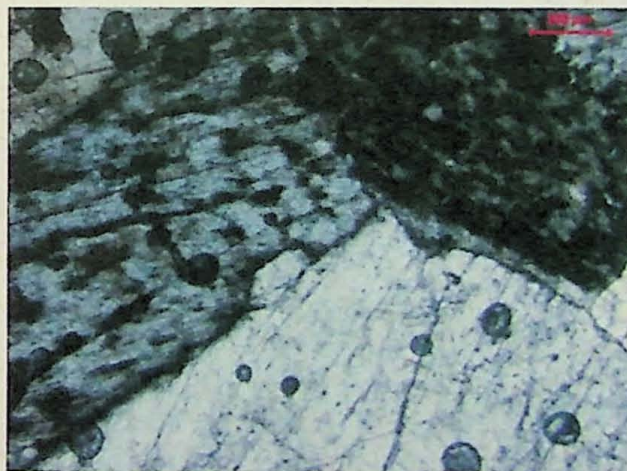


Foto 20: Contato entre a nefelina e o feldspato alterado com polarizador cruzado.



Foto 21: Piroxênio zonado (aegirina-augita).

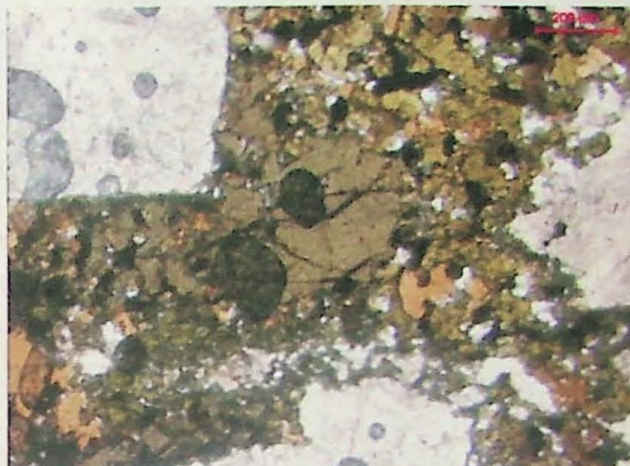


Foto 22: Substituição do clinopiroxênio por biotita e anfibólio.

10.6 Análise dos Dados Obtidos de Esquemas Planialtimétricos e Perfis

Após a visita ao sítio da CGH Lamins, foi feita uma seleção dos perfis nas bases planialtimétricas e posteriormente a elaboração dos mesmos (Anexos I, II e III).

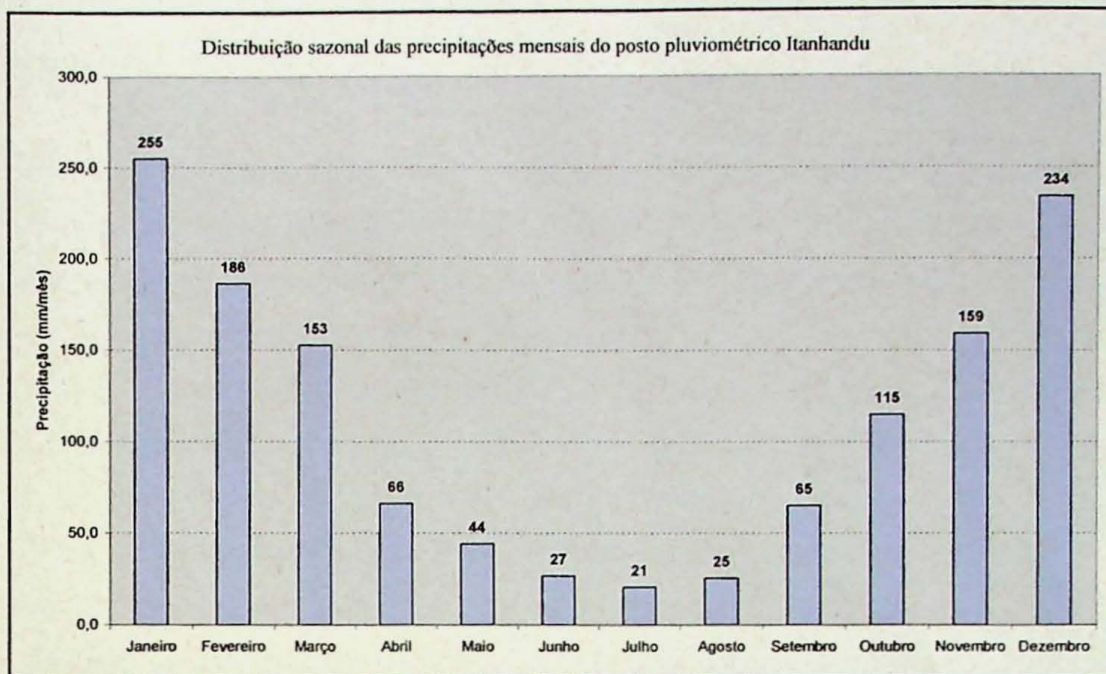
A análise dos perfis (Anexo II e III) revelou segmentos do conduto metálico desprovidos de suporte na base indicando movimentos de massa ocorridos nos taludes nestes trechos. Além disso, ficou evidente o alto ângulo das encostas e taludes de corte (aproximadamente 30° a 50° para as encostas e 60° a 90° para os taludes de corte), tanto no local estudado quanto nas áreas adjacentes. Constatou-se ainda que um bloco de rocha alterado de corpo de tálus constitui um talude negativo (Anexo III).

10.6.1 Índices Pluviométricos

Para a verificação dos índices pluviométricos na CGH Lamins, foram utilizados os estudos hidrológicos realizados para o relatório de Estudos Hidrometeorológicos e Energéticos existente na empresa Itapura Engenharia, Geologia e Meio Ambiente Ltda.

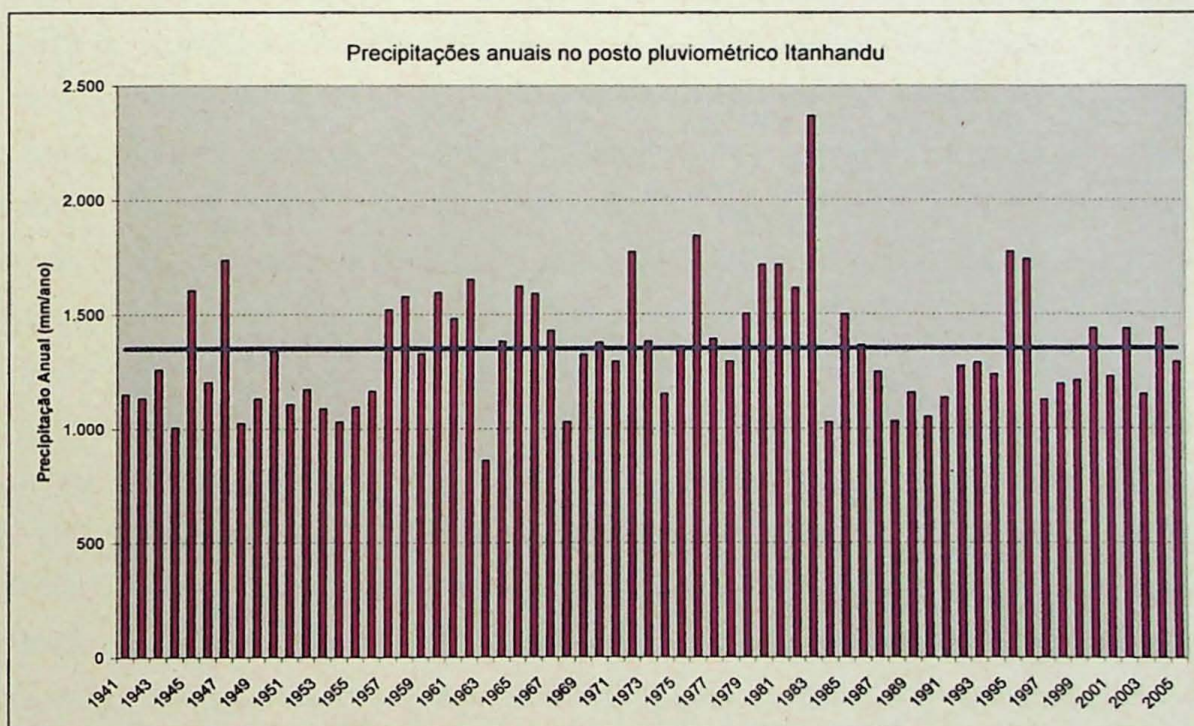
A caracterização do regime pluviométrico foi feita com base no posto pluviométrico de Itanhandu. Verificou-se que a distribuição sazonal e a magnitude das precipitações são típicas da Região Sudeste do país, com um semestre seco entre abril e setembro e um semestre chuvoso entre outubro e março. A Figura 11 apresenta os totais precipitados mensais médios no posto pluviométrico Itanhandu. Observa-se que no semestre de maior pluviosidade (outubro a março) as precipitações atingem 82% do total anual, com início das chuvas de maior magnitude no mês de outubro.

A Figura 12 apresenta os totais precipitados anuais no posto pluviométrico Itanhandu. O total precipitado anual médio é de 1350 mm/ano, merecendo destaque o período de 1980 a 1984 quando os totais precipitados anuais atingiram valores bem acima da média.



FONTE: RELATÓRIO DE ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS E ENERGÉTICOS DA EMPRESA ITAPURA

FIGURA 11: TOTAIS PRECIPITADOS MENSAIS NO POSTO PLUVIOMÉTRICO ITANHANDU
(PERÍODO 1941-2005).



FONTE: RELATÓRIO DE ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS E ENERGÉTICOS DA EMPRESA ITAPURA

FIGURA 12: TOTAIS PRECIPITADOS ANUALMENTE NO POSTO PLUVIOMÉTRICO DE ITANHANDU.
(Período: 1941-2005).

11. Discussão dos resultados

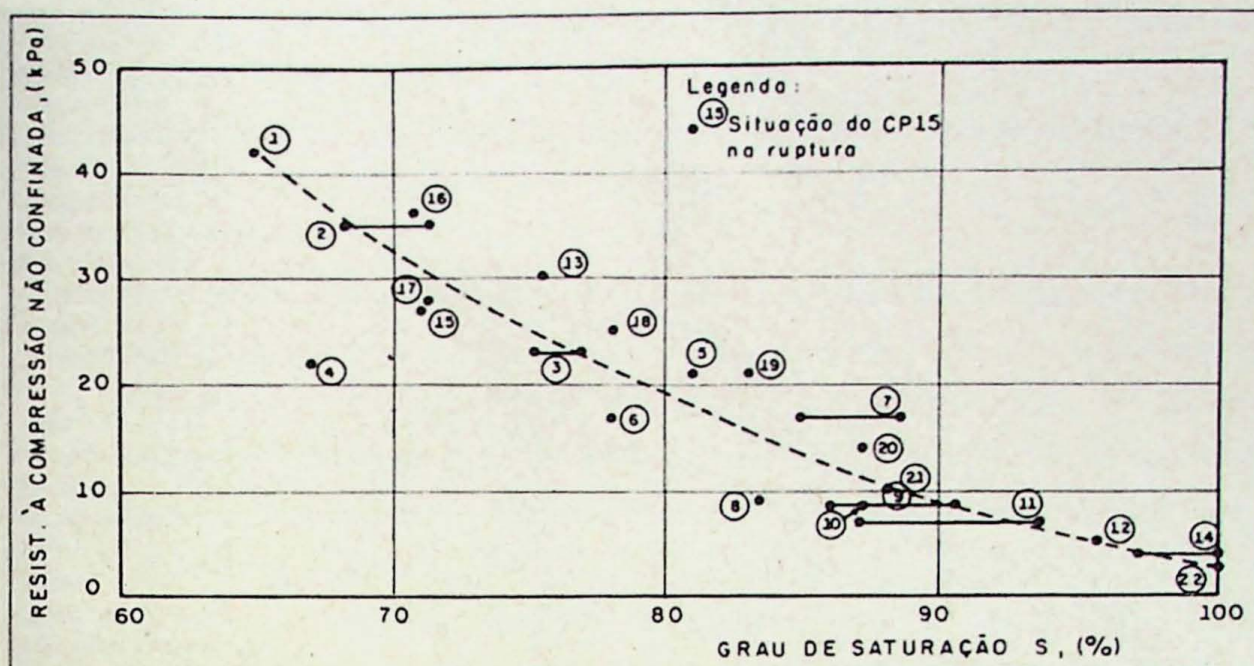
O grau de saturação relativamente baixo apresentado para o solo de alteração de rocha deve estar relacionado à alta declividade local ($\sim 30^\circ$) verificada em campo e nos perfis examinados, uma vez que o valor médio da precipitação local é de aproximadamente 1350 mm/ano, ou seja, uma precipitação que se situa entre média e alta quando comparada com a média no Brasil. O território brasileiro possui os maiores totais pluviométricos entre 1.500 e 4.000mm de acordo com o site www.geocities.com/mantiqueira2000/clima.htm.

Uma segunda hipótese para o baixo grau de saturação seria o fato da amostragem deste solo ter sido realizada no mês de setembro que segundo a Figura 11, é um mês tipicamente de baixa pluviosidade.

Os valores relativamente elevados de resistência a compressão obtidos para a amostra de solo de alteração de rocha, corroboram com o que foi observado em campo, pois indicam que os problemas de escorregamentos de massa observados nos arredores da tubulação não devem envolver este solo em grande escala, portanto, estes problemas devem ter relação principalmente com o solo coluvionar e os depósitos de tálus.

Com o valor médio de aproximadamente 60% obtido para o grau de saturação no solo de alteração, pode-se inferir que este solo ainda que tenha apresentado boa resistência à compressão durante os ensaios, deve vir a sofrer grandes mudanças nesta resistência em decorrência de um maior grau de saturação que pode chegar a 100% em condições pluviométricas e topográficas adequadas. Esta diminuição da resistência em função do grau de saturação é muito representativa e pode ser observada no trabalho publicado por Abramento & Pinto (1993), os resultados podem ser vistos na Figura 13.

Se o solo de alteração de rocha tiver um comportamento similar ao solo estudado por Abramento & Pinto (1993) em termos de saturação em água, pode-se inferir um valor de resistência a compressão 10 vezes menor, ou seja, igual a 17,05 KPa. O trabalho apresentado por Abramento & Pinto (1993) ainda permite sugerir que o solo coluvionar encontrado no Maciço Alcalino de Passa Quatro deve apresentar baixa resistência a compressão simples, uma vez que o estudo dos autores citados foi realizado em um solo coluvionar não saturado proveniente de área afetada por escorregamentos nas encostas da Serra do Mar.



Fonte: Revista Brasileira de Geotecnia vol.16, nº3, 1993

Figura 13: Variação da resistência à compressão não confinada com o grau de saturação

Segundo a classificação feita pelo SUCS, a amostra de solo coluvionar apresentou tendência a recalque; não é indicado, portanto implantação de tubulação adutora sobre o material sem o devido calçamento em sua base de apoio, sob o risco de ocorrer recalques que possam vir a causar deformações na estrutura da tubulação.

12. Conclusão

Durante as duas visitas realizadas ao Maciço Alcalino de Passa Quatro, ficou evidente o intenso processo de ocupação que vem ocorrendo neste maciço.

As obras de estradas assim como as obras referentes ao canal de adução acabam por cortar depósitos de tálus e solos coluvionares em processo de rastejo e em alguns casos, estas obras podem gerar altos ângulos de taludes de corte o que por sua vez facilitaria os movimentos de massa, além disso, as vibrações ocasionadas pelos carros e máquinas que trafegam por estas estradas, ainda que seja pequena a circulação, pode contribuir com o aparecimento de áreas com problemas de instabilidade.

Durante as inspeções técnicas realizadas ao corpo de tálus, pode-se verificar que o mesmo não apresentava surgências d'água porém foi visto sinal de rastejo o qual deve ter provocado deformações na tubulação a ser substituída; importante ressaltar que estas visitas foram realizadas em meses de baixos índices de precipitação e talvez por isso não foram observadas surgências d'água na área. Em conversas com os moradores da região, foi relatada a existência de surgências d'água em alguns locais próximos ao corpo de tálus,

assim como a ocorrência freqüente de escorregamentos de massa em vários locais do Maciço Alcalino de Passa Quatro.

Finalmente, com base nos resultados obtidos durante as análises laboratoriais e nos aspectos apresentados acima pode-se concluir que:

- 1) O solo de alteração encontrado na cota de 1300 m foi classificado como silte de baixa plasticidade e o solo coluvionar apesar de apresentar uma fração considerável da dimensão argila foi classificado como silte elástico pelo SUCS. O silte de baixa plasticidade apresentou uma resistência considerável quando parcialmente saturado. Sugere-se com base na classificação do SUCS que o silte elástico pode vir a apresentar recalques.
- 2) As análises das seções delgadas das rochas revelaram que o litotipo presente no corpo de tálus é um nefelina sienito cinza, de estrutura maciça e textura inequigranular de granulação variando de média a grossa, rico em feldspato alcalino.
- 3) Os índices pluviométricos deixam clara a existência de uma estação mais seca que vai de abriu a setembro e uma chuvosa entre os meses de outubro e março, ainda foi constatado que durante os seis meses de chuva ocorrem 82% do total precipitado no ano. Este fato sugere que a grande maioria dos escorregamentos na região, deve ocorrer principalmente durante estes meses de chuva.
- 4) Analisando-se os perfis ortogonais a tubulação adutora, constatou-se a ocorrência de elevados ângulos de talude e encostas e isso deve contribuir de maneira significativa para ocorrência de áreas de instabilidade ao longo da tubulação adutora.
- 5) Sugere-se que o movimento do corpo de tálus se dá por influência das águas de chuva que podem aumentar o nível do lençol freático nos meses de maiores índices pluviométricos causando inclusive surgências d'água, ainda infere-se uma provável participação do rio Verde neste processo de instabilidade, o rio pode estar erodindo a base do corpo de tálus; no entanto nenhuma dessas causas foram observadas em campo
- 6) Diante do que foi visto e analisado, para realização da substituição da antiga tubulação adutora de baixa pressão da CGH Lamins será necessário estabilizar o corpo de tálus e sugere-se aqui duas frentes de trabalho para a realização da tarefa: em locais que apresentam ocorrência de blocos de diâmetro métricos, é indicado forçar sua remoção a fogo com a finalidade de diminuir a declividade do talude; em locais que apresentam a possibilidade de queda de pequenos blocos de rocha com o conseqüente descalçamento e instabilização do corpo de tálus, pode-se tentar o uso de proteção com tela, que consiste na utilização de tela metálica fixada à superfície do talude por meio de chumbadores.

Deve-se lembrar, no entanto que as formas de combate à movimentação de corpo de tálus se baseiam na observação e não são passíveis de qualquer tentativa de cálculo ou previsão; o método deve basear-se na execução de sucessivas etapas de trabalhos, onde cada etapa é dimensionada em função dos resultados obtidos nas etapas anteriores (Guidicini & Nieble, 1976).

Referencias Bibliográficas

ABRAMENTO, M.; PINTO, C.S. 1993. Resistência ao Cisalhamento de Solo Coluvionar não Saturado das Encostas da Serra do Mar, Revista Brasileira de Geotecnia, vol.16, nº3, 145-158p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1984 a – Análise Granulométrica NBR-7181. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo. 13p.

_____.1984b. Determinação do Limite de Liquidez NBR-6459. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo. 6p.

_____.1984c. Determinação do Limite de Plasticidade NBR-7180. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo. 3p.

_____.1986 Amostragem, Preparação para Ensaio de Compactação e Caracterização e Teor de Umidade NBR 6457. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo.9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 1998. Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE, FAPESP, CNPq. 586p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 1985. Glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia. 1º Edição, São Paulo, ABGE, 139p.

CARREGÃ, D.L. 1994. Estudo de Movimentações de Taludes Aplicados ao Perfil de Intemperismo Desenvolvido em Ambientes Tropicais, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 160p.

CARVALHO, P. A. S. 1991. Manual de Geotecnia: Taludes de Rodovias – Orientação para Diagnóstico e Solução de seus Problemas. IPT, São Paulo, 388p.

CHIESSI, C.M. 2004. Tectônica Cenozóica do Maciço Alcalino de Passa Quatro (SP-MG-RJ), Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 116p.

CONTINI, J.B. 2001. Resgatando a “Fisiologia da Paisagem”, Revista do Departamento de Geografia, nº14, São Paulo, 59-69p.

COSTA NUNES, A.J. 1974. Estabilidade de Taludes - Rocha e Solo: Revisão dos Acontecimentos. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 5º, Anais, São Paulo, ABMS. Vol.3, tema 3, 97-119p.

DEPARTAMENTO NACIONAL de ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. 1993/1994. Determinação da Densidade Real. DNER ME 8p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. 1981. Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente Incluindo Depósitos Minerais, Material Cartográfico, Escala 1:2500000.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. 2003. Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia. Companhia Mineradora de Minas Gerais. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1000000.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. 1994. Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas, SEME, COMIG, 97p.

GUIDICINI, G & NIEBLE, C.M. 1976. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Edgard Blucher, São Paulo, 167p.

MAGRO, T.C. 1999. Impactos do Uso Público em uma Trilha no Planalto do Parque Nacional do Itatiaia, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 151p.

MACHADO FILHO, J.G. 2000. Estabilidade de Encostas e Condicionantes Geológicos, Geomorfológicos e Estruturais, Num Trecho da Serra de Cubatão, Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 172p.

MIOTO, J.A.; CARLSTRON FILHO, C. 1976. Experiência Acumulada em Estudos Geológico-Geotécnico para Estabilização de Taludes ao Longo do Trecho Ferroviário Gal. Luz (RS) - Ponta Grossa (PR). ABGE, Anais do 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio de Janeiro (RJ), vol.1, 332-369 p.

PINTO, C.S. 2006. Curso Básico de Mecânica dos Solos. Oficina de Textos, Petrópolis/RJ, 355p.

PENALVA, FAUSTINO. 1963. Geologia da Região do Itatiaia (Sudeste do Brasil): Morfologia e Tectônica, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 63p.

RIBEIRO FILHO, E. 1963. Maciços Alcalinos do Itatiaia e de Passa Quatro (Sudeste do Brasil) Contribuição à Geologia e Petrologia, Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, 58p.

RODRIGUES e SILVA, F.B. 1985. Os Cambissolos da Porção Central da Província Estrutural da Mantiqueira e suas Relações com os Latossolos: Alteração e Pedogênese, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 259p.

RUBERTI, EXCELSO. 1984. Petrologia do Maciço Alcalino do Banhadão, PR, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 248p.

SANTOS, A.R. 1974. A Geologia nos Projetos de Estabilização de Taludes. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 5º, Anais, São Paulo, ABMS. Vol.1, 383-404p.

SÍGOLO, J.B. 1988. As Formações Bauxíticas Lateríticas do Maciço Alcalino de Passa – Quatro MG, Sua Evolução Micromorfológica, Geoquímica e as Implicações do Relevo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 186p.

SORENSEN, HENNING. 1974 The alkaline Rocks. John Wiley & Sons, New York, 622p.

TERZAGHI, K. 1948. Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, New Yourk, 566p.

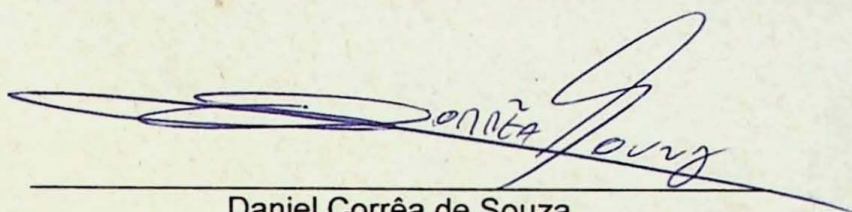
VARGAS, M. 1966. Estabilização de Taludes em Encostas de Gnaisses Decompostos. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 3º, Anais, Belo Horizonte. Vol.1, seção 6, 32-44p.

SITE

www.dzo.uem.br/disciplinas/Solos/pratica.doc

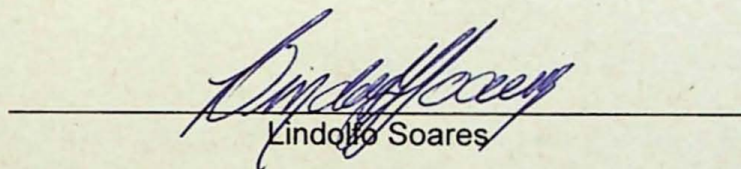
www.geocities.com/mantiqueira2000/clima.htm

De acordo,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Daniel Corrêa de Souza', is written over a horizontal line.

Daniel Corrêa de Souza

Aluno

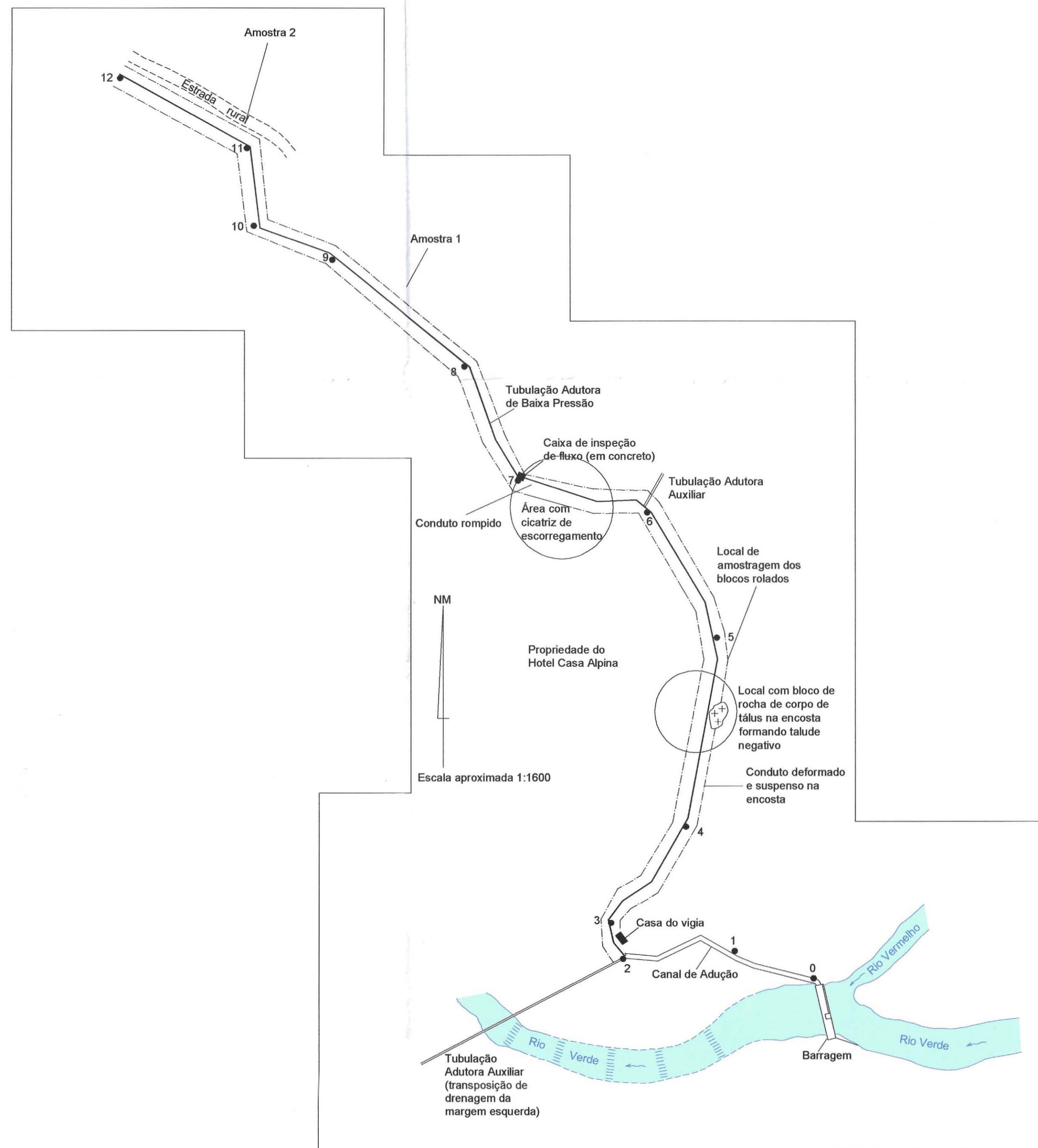
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lindolfo Soares', is written over a horizontal line.

Lindolfo Soares

Orientador

Anexo I

Planta da extensão da tubulação entre os pontos 0 e 12



Fonte: Levantamento topográfico realizado por Antonio Carlos Varela,
e responsabilidade técnica de Ubiratan Cakdas

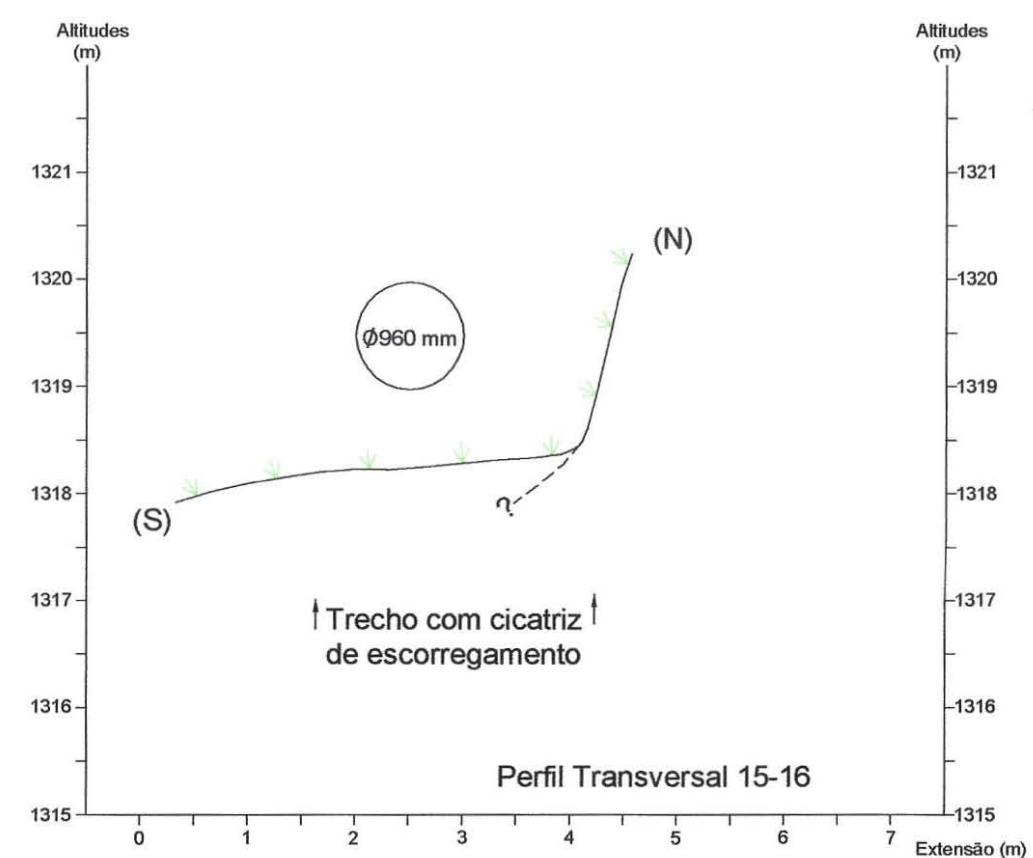
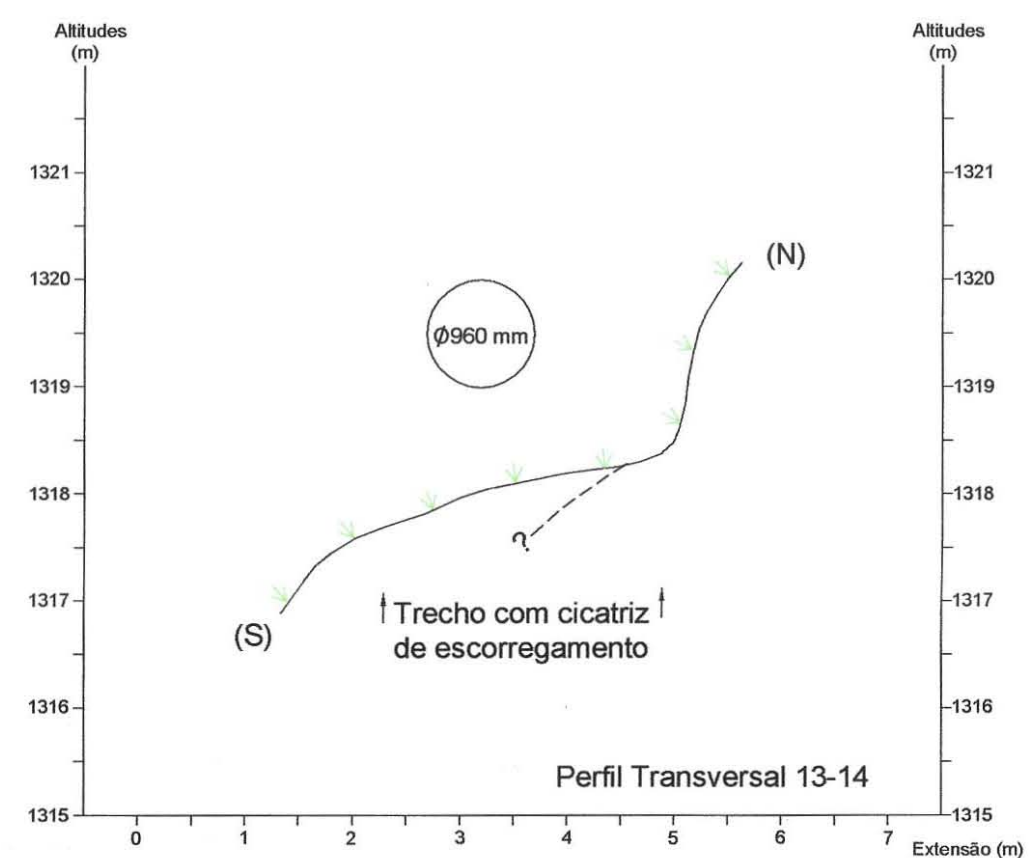
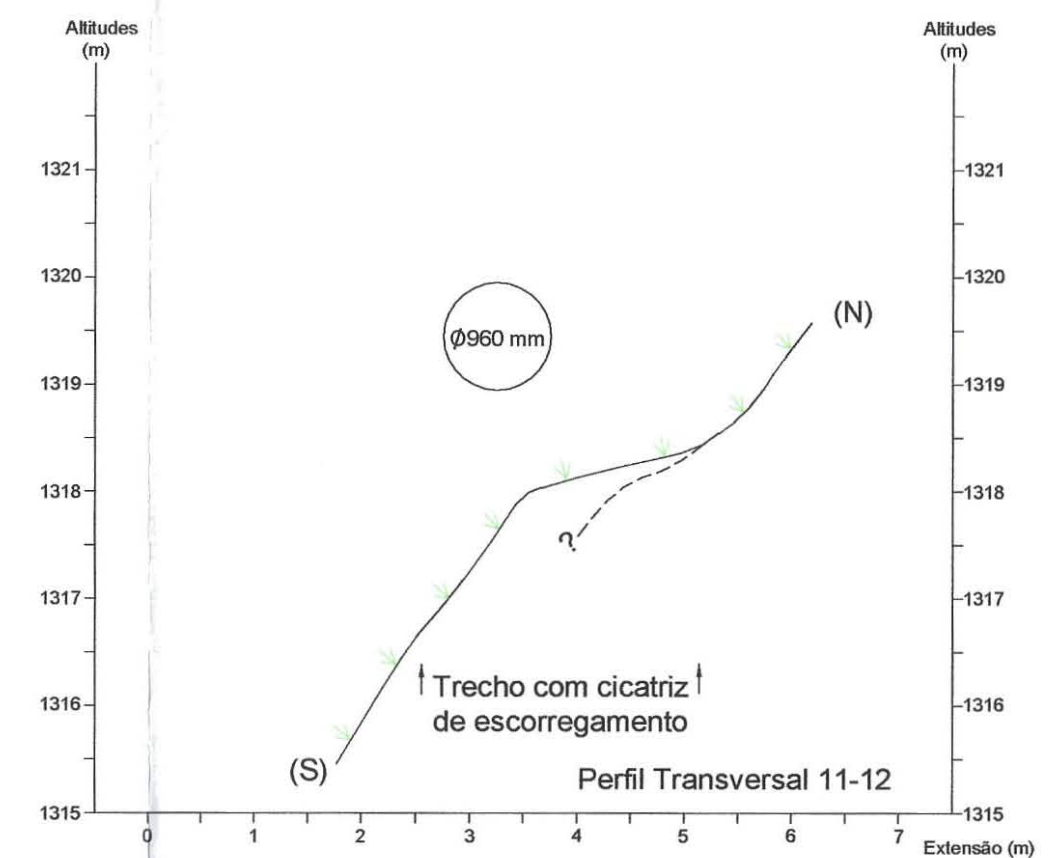
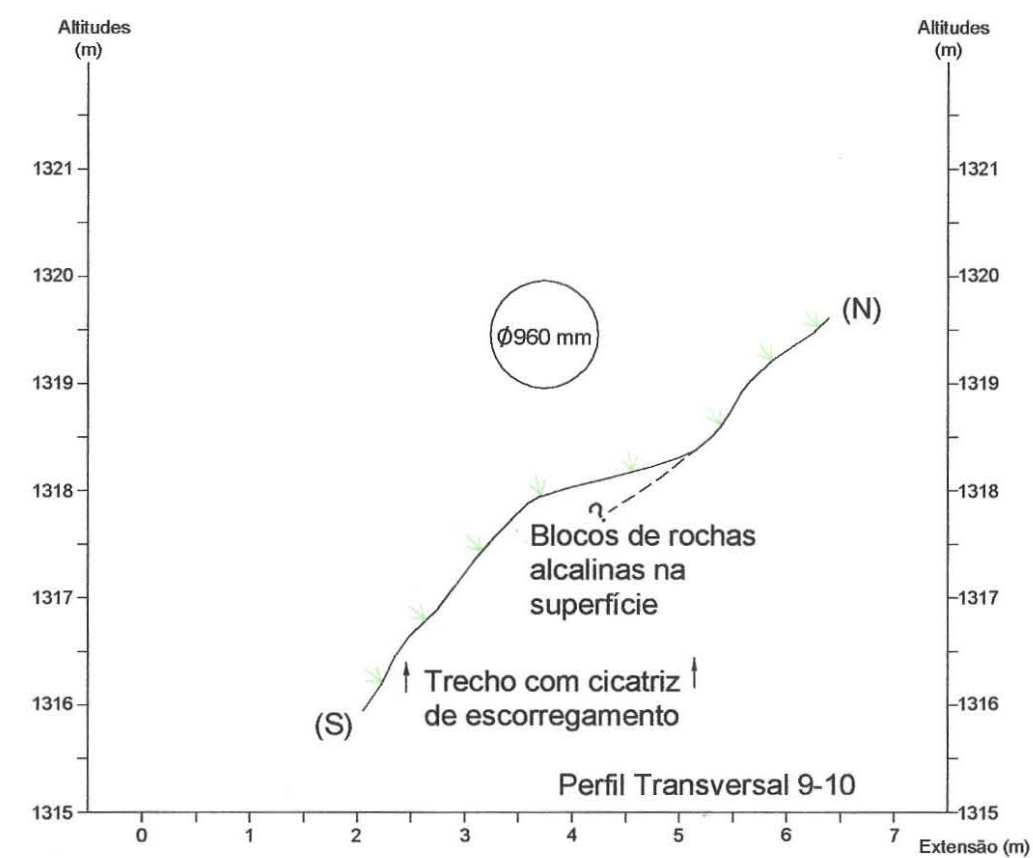
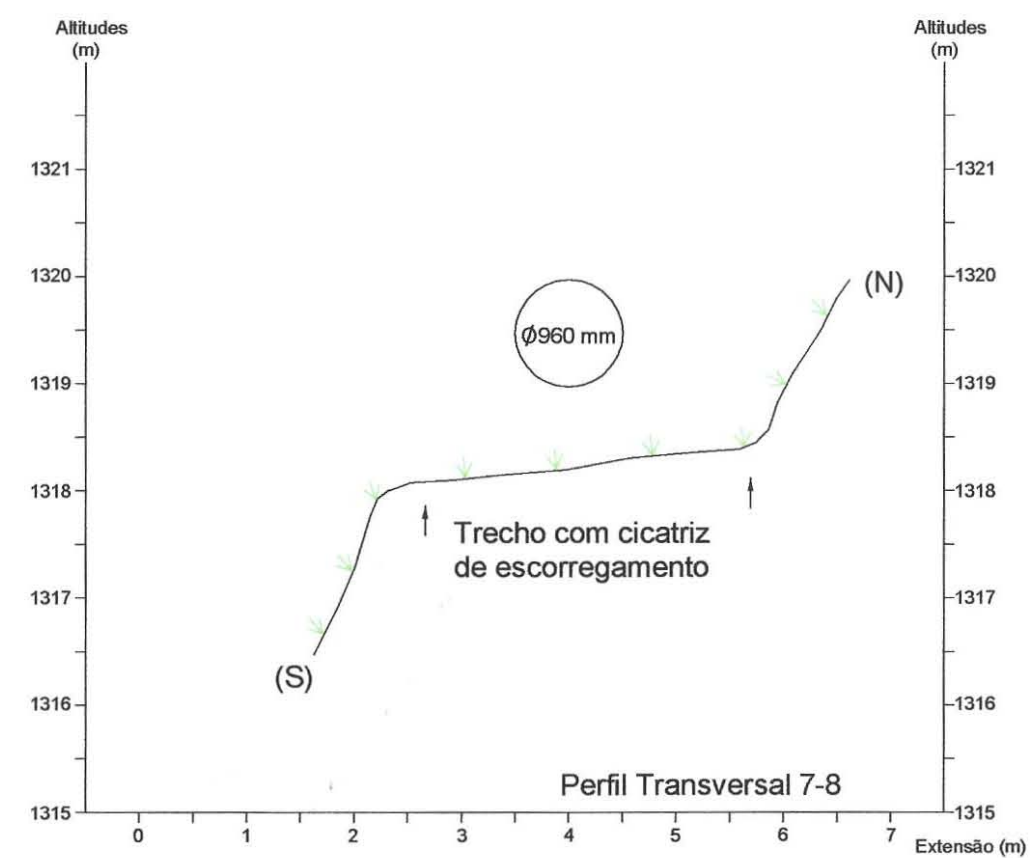
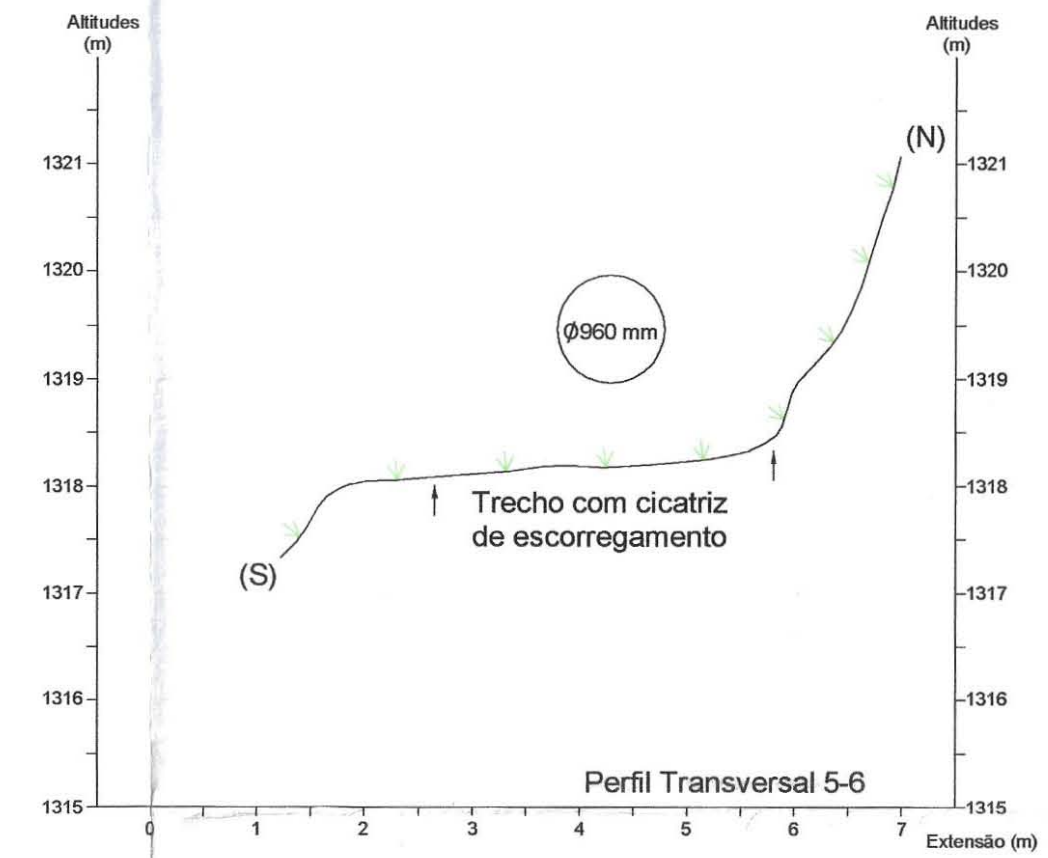
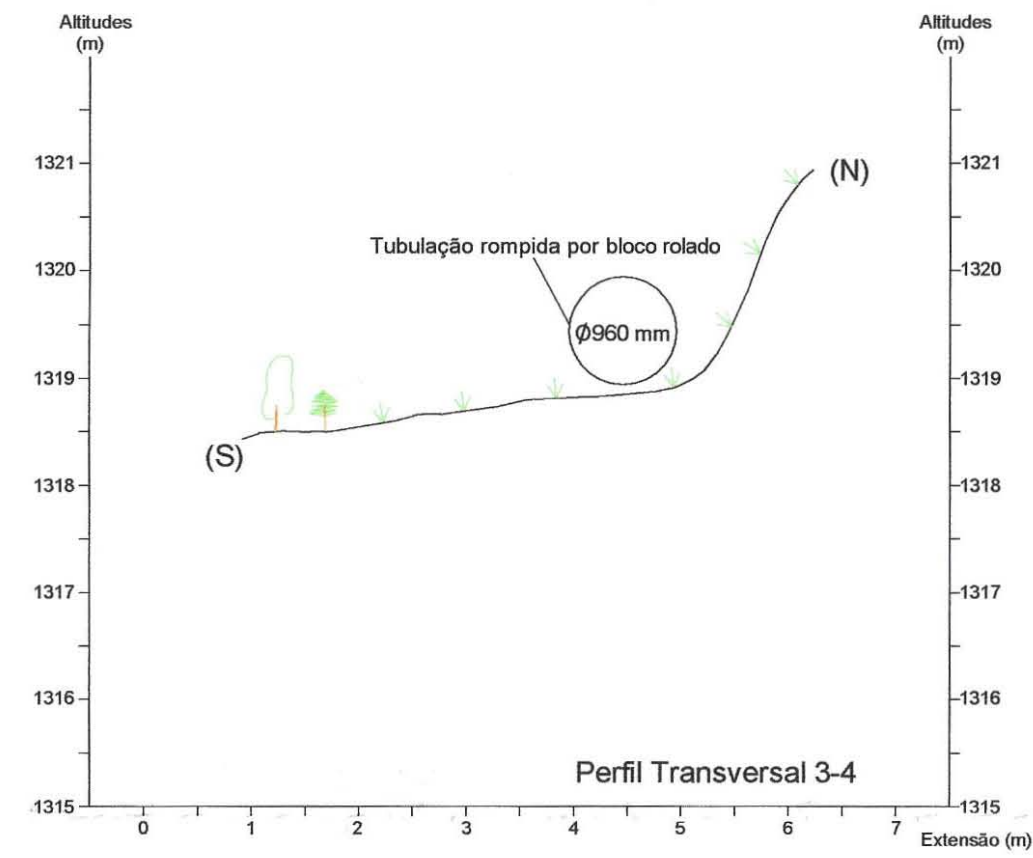
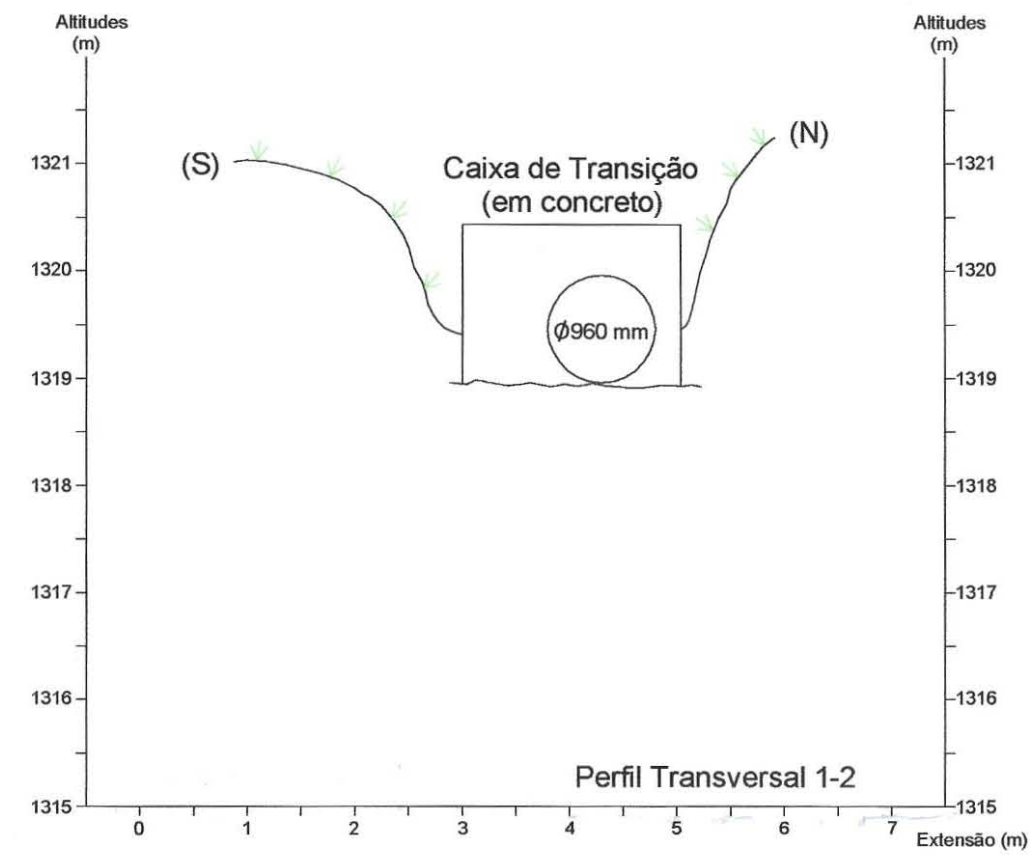
CGH LAMINS
Mapa de Pontos
TUBULAÇÃO ADUTORA DE BAIXA PRESSÃO
Extensão da Tubulação entre os Pontos 0 e 12
Indicada
Escala

Anexo II

Planialtimetria de trecho entre os pontos 07 e 06

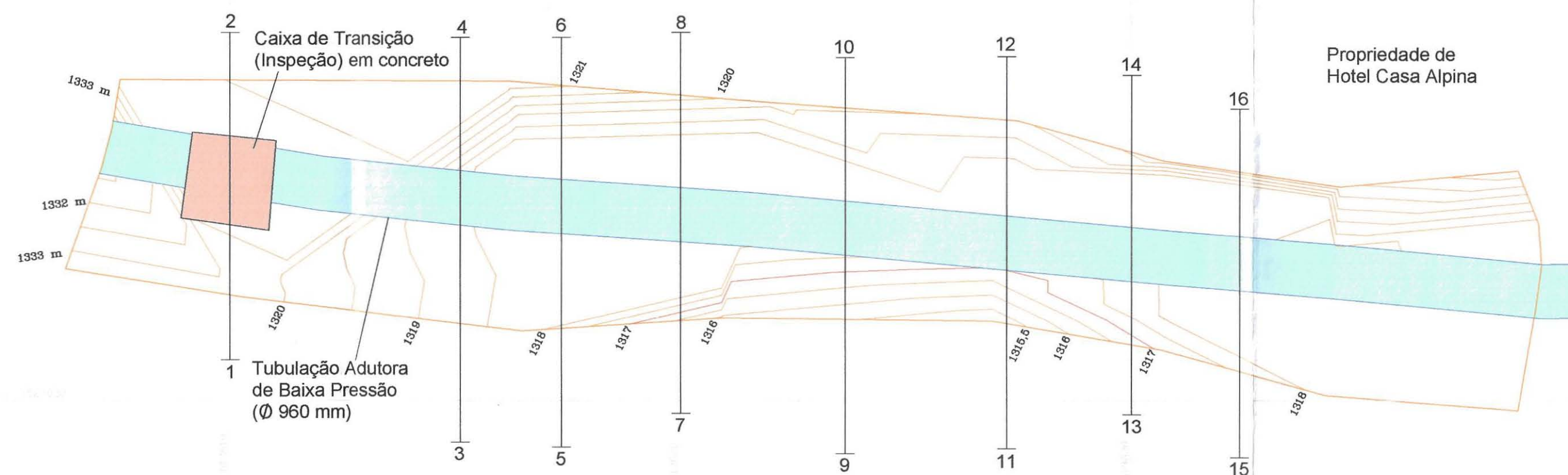
Perfis transversais contidos no trecho entre os pontos 07 e 06

21633



CGH LAMINS

TUBULAÇÃO ADUTORA DE BAIXA PRESSÃO
Consolidação de Encosta entre os pontos 07 e 06

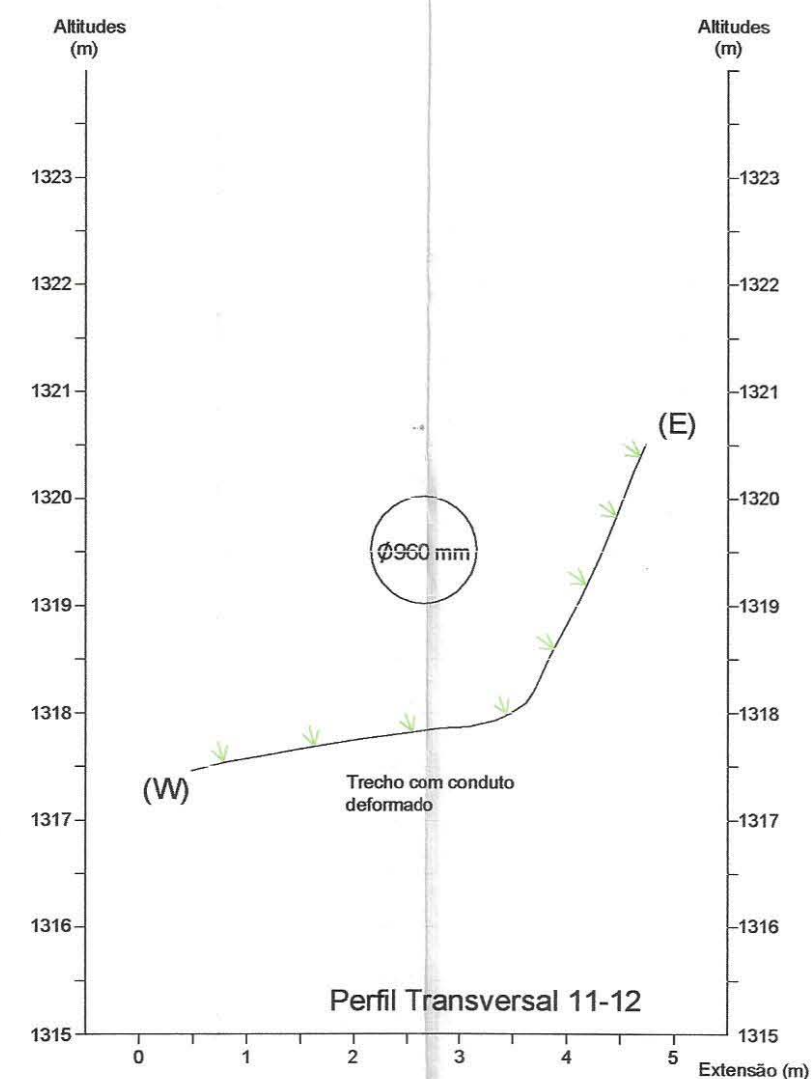
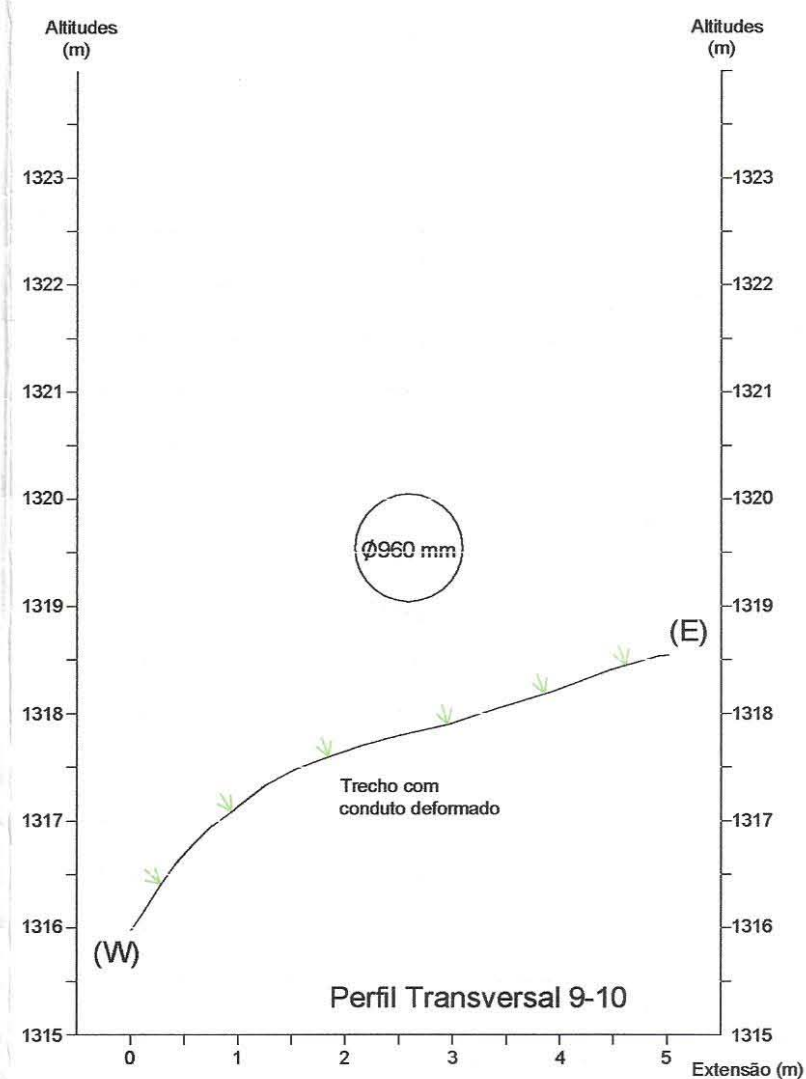
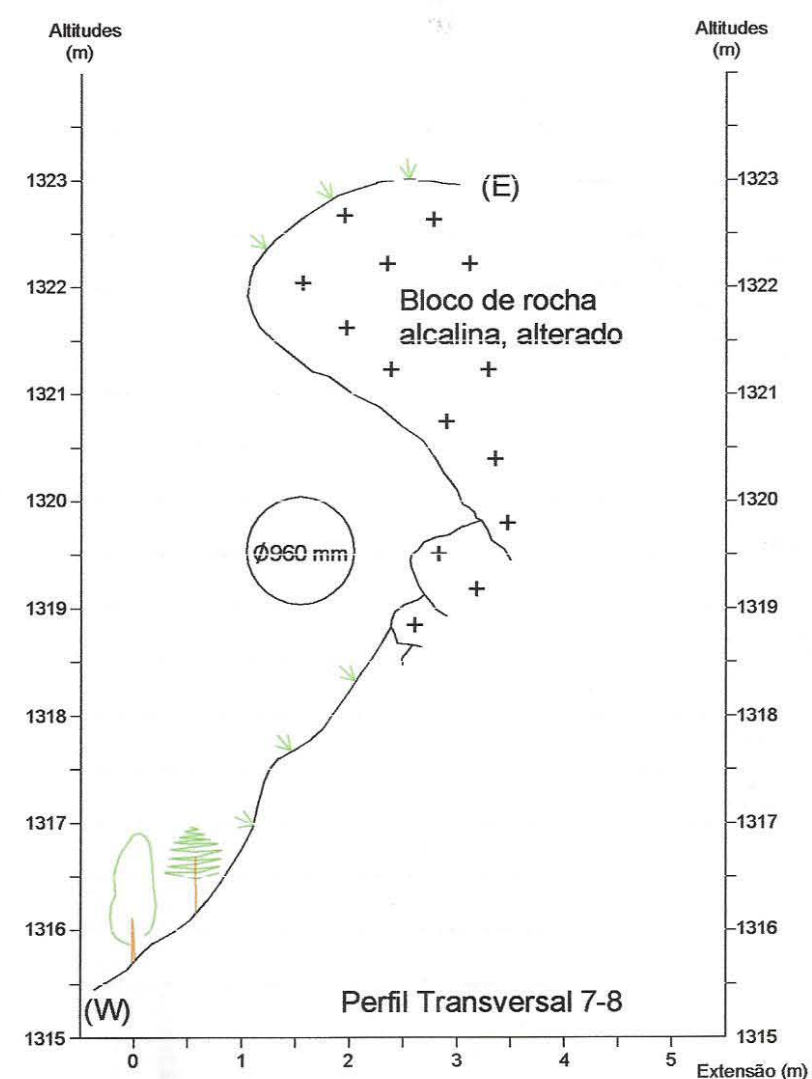
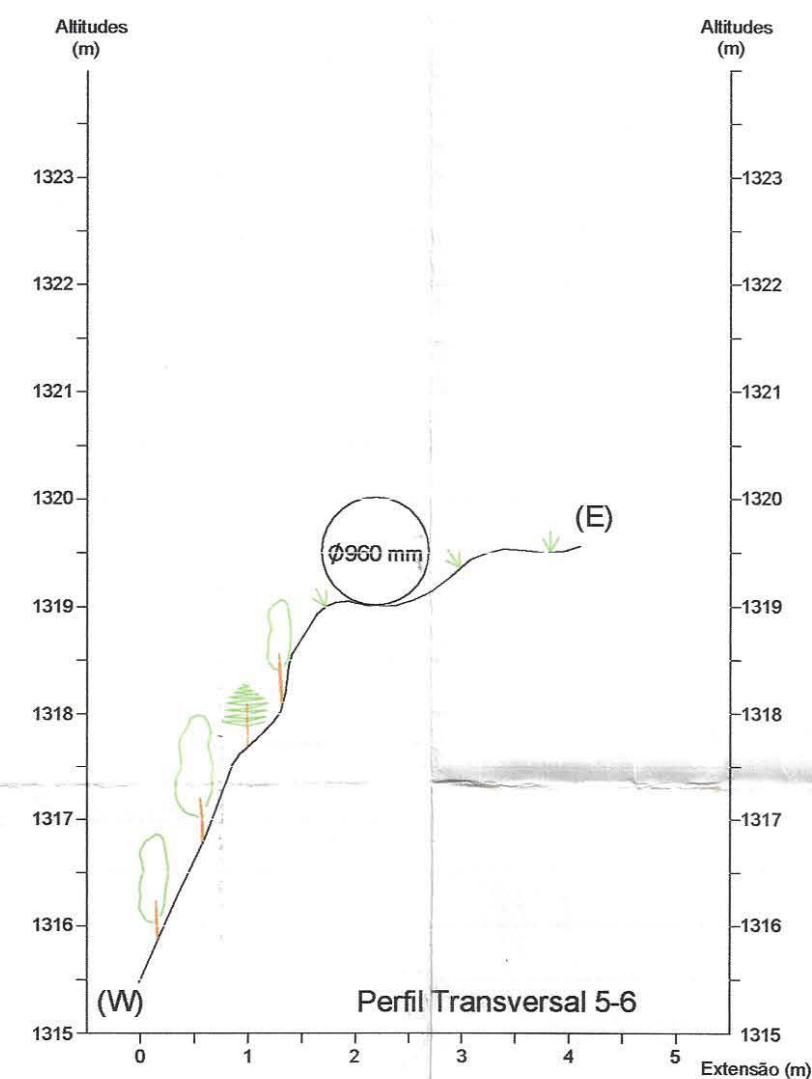
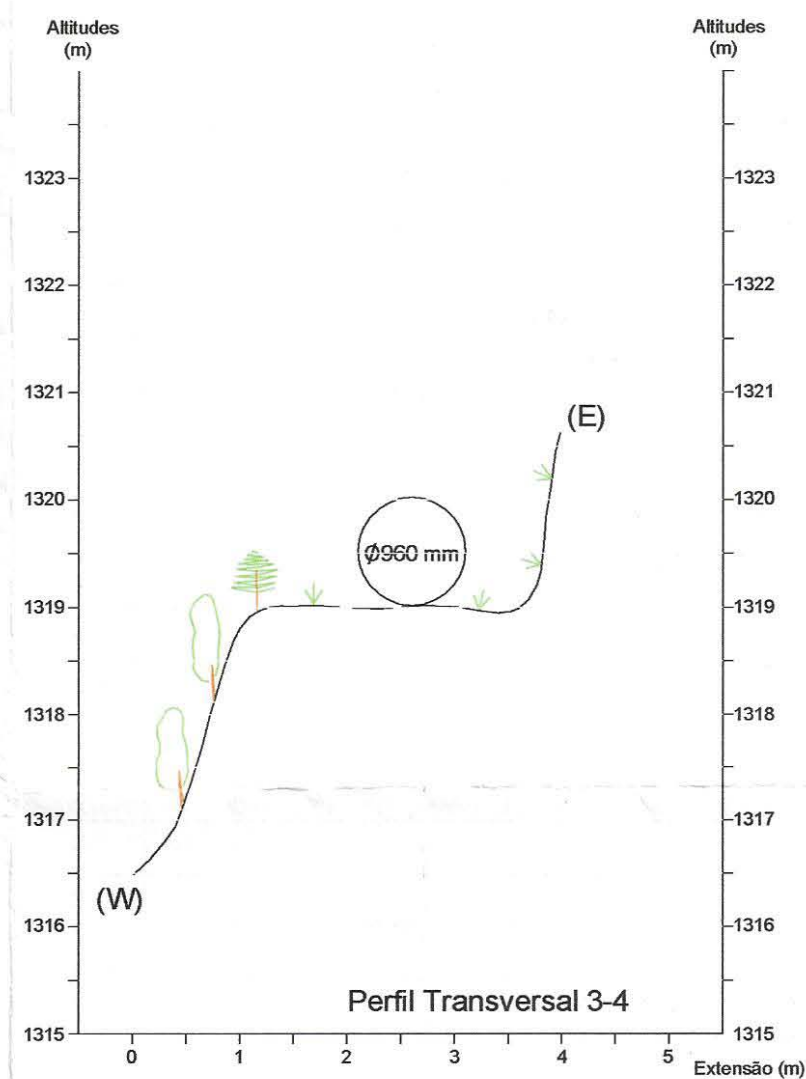
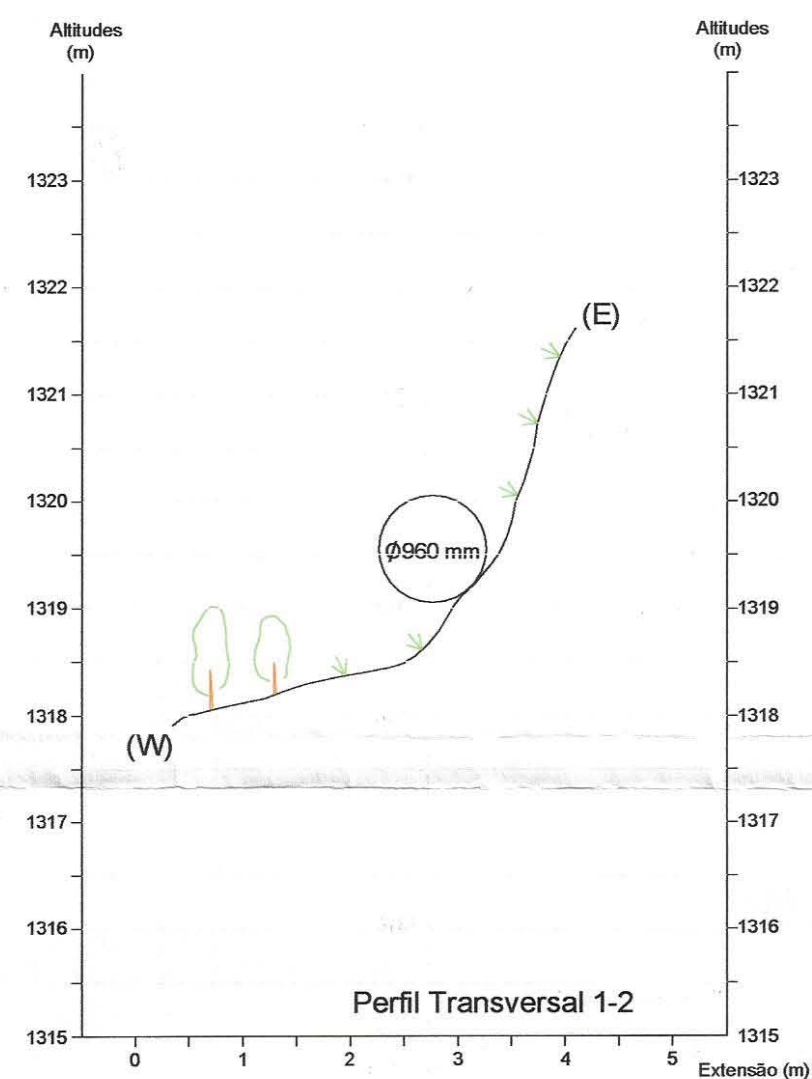


1:200
Escala aproximada

Anexo III

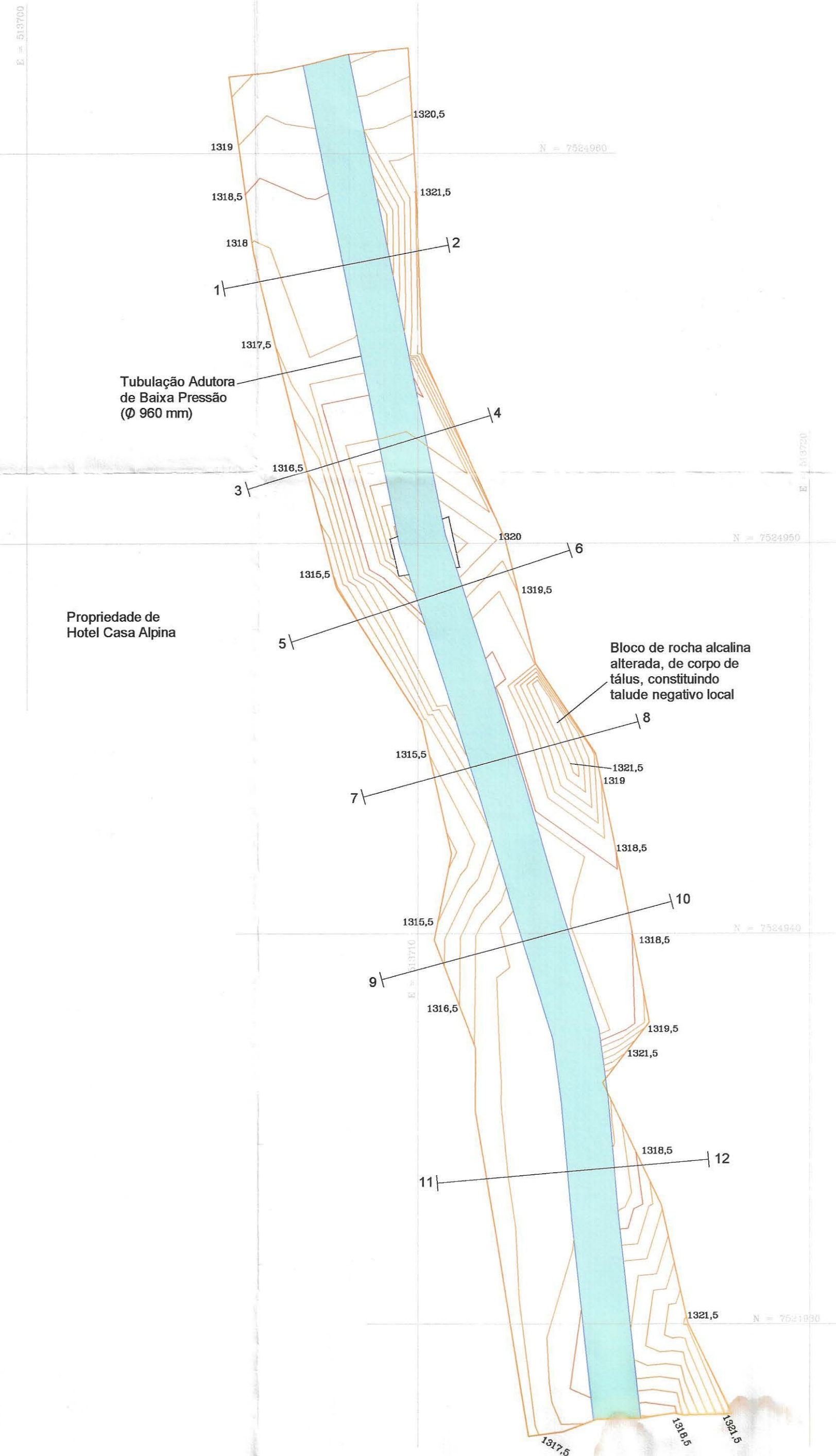
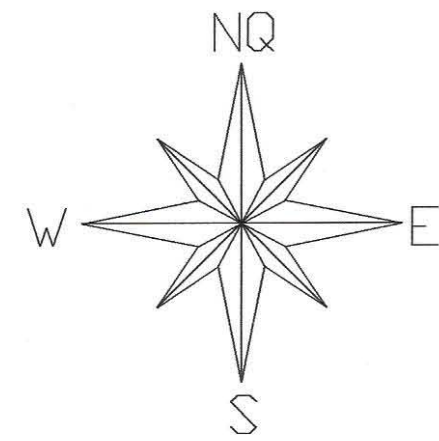
Planialtimetria de trecho entre os pontos 05 e 04

Perfis transversais contidos no trecho entre os pontos 04 e 05



CGH LAMINS

TUBULAÇÃO ADUTORA DE BAIXA PRESSÃO
Consolidação de Encosta entre os pontos 05 e 04
Perfis perpendiculares a tubulação adutora



NOTA: Levantamento topográfico realizado por Daniel Furtado Meireles (FPM 2007)

CGH LAMINS

TUBULAÇÃO ADUTORA DE BAIXA PRESSÃO
Planialtimetria de trecho entre os pontos 05 e 04

1:200
Escala aproximada

DOAÇÃO
<i>IGC-USP</i>
Data: <i>20.02.09</i>

