

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PARÂMETROS GEOLÓGICO-GEOMECÂNICOS DE
CAMPO PARA PREVISÃO DA ESCARIFICABILIDADE
DE ROCHAS SEDIMENTARES: SILTITOS E
ARENITOS DO GRUPO ITARARÉ, SÃO PAULO**

Leandro Vida Pinheiro de Castro

Orientador: Prof. Dr. Georg Robert Sadowski

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2001/23)

SÃO PAULO
2001

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PARÂMETROS GEOLÓGICO-GEOMECÂNICOS DE CAMPO
PARA PREVISÃO DA ESCARIFICABILIDADE DE ROCHAS
SEDIMENTARES: SILTITOS E ARENITOS DO GRUPO ITARARÉ,
SÃO PAULO**

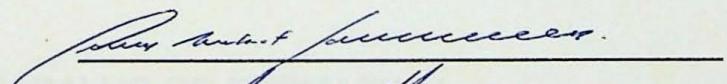
LEANDRO VIDA PINHEIRO DE CASTRO

DISCIPLINA 0440500 - TRABALHO DE FORMATURA

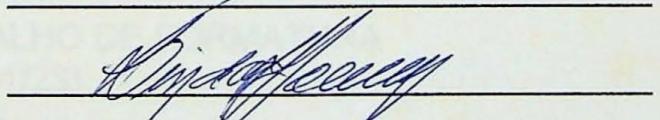
BANCA EXAMINADORA



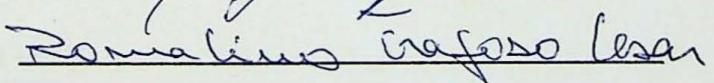
Prof. Dr. George Robert Sadowski



Prof. Dr. Lindolfo Soares



Prof. Dr. Antônio Romalino S.F. Cesar



SÃO PAULO
2001

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PARÂMETROS GEOLÓGICO-GEOMECÂNICOS DE
CAMPO PARA PREVISÃO DA ESCARIFICABILIDADE
DE ROCHAS SEDIMENTARES: SILTITOS E ARENITOS
DO GRUPO ITARARÉ, SÃO PAULO**

Leandro Vida Pinheiro de Castro



Orientador: Prof. Dr. Georg Robert Sadowski

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2001/23)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900009346

SÃO PAULO
2001

TF
C855
LVP.X



DOACAO COMISSAO DE
TRABALHO DE FORMATURA

Data: 15 / 02 / 02

*Aprender a ver é a mais longa
e difícil de todas as artes.*

Portinari

Meus sinceros agradecimentos

Ao Prof. Dr. Georg R. Sadowski pela orientação intelectual e oportunidade de aprendizado para minha formação profissional.

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio, incentivo, compreensão e pela ajuda na realização e confecção deste trabalho.

Ao meu primo Leonardo que muito me auxiliou no tratamento das imagens aqui apresentadas.

Ao Sr. Alcides, IPT, pela colaboração ao emprestar o Esclerômetro de Schmidt.

A todos aqueles com os quais convivi e que me acompanharam ao longo destes anos de faculdade.

Enfim, agradeço ao meu Deus, no qual acredito, tenha me proporcionado a oportunidade de concluir este curso tão envolvente.

SUMÁRIO

RESUMO IV

ABSTRACT.....	V
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Justificativas.....	3
1.4. Localização da Área.....	4
1.5 Fundamentação Teórica.....	4
1.6 Desenvolvimento do Trabalho.....	8
2. GEOLOGIA.....	9
2.1. Geologia Regional.....	9
2.2. Geologia Local.....	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1. Pesquisa Bibliográfica.....	12
3.2. Análise de Dados Geotécnicos/Geomecânicos.....	13
3.2.1. Sondagens.....	13
3.2.2. SPT.....	13
3.3. Análise de Dados Geofísicos.....	14
3.4. Ensaios de Campo.....	15
3.4.1. Esclerometria Schmidt dos Materiais.....	15
3.4.2. Observação Tátil/Visual dos Materiais.....	16
4. ASPECTOS GEOTÉCNICOS DA OBRA.....	16
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	17
6. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	18
7. CONCLUSÕES.....	20
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

ANEXO 1: Tabela Caterpillar

ANEXO 2: Vista do Perfil 2, Formação Tatuí

ANEXO 3: Fotos

ANEXO 4: Ábaco com Correção de Inclinação do Esclerômetro de Schmidt

ANEXO 5: Tabela de Pontos

ANEXO 6: Gráficos

ANEXO 7: Gráficos de Dispersão

ANEXO 8: Croquis

RESUMO

A previsão da escavabilidade de rochas sedimentares é um problema freqüente, complexo e prático no dia a dia da geologia de engenharia. Algumas das principais complexidades são o intemperismo em ambientes tropicais e o desenvolvimento de instrumentos de escavação rápida. Devido a ampla quantidade de rochas sedimentares nas extensas bacias sedimentares brasileiras busca-se solucionar esta questão de caráter regional, visando redução de custos e do impacto ambiental.

Tendo em mãos a Velocidade Sísmica e de dados de Standart Penetration Test, SPT, provenientes do local do projeto acredita-se estabelecer parâmetros de correlação usando informações disponíveis no estágio final da escavação, para definir o previsto x a correlação real. Um índice numérico usado para melhor quantificar o grau de correlação é o índice esclerométrico de Schmidt.

Os dados aqui estudados referem-se a siltitos e arenitos e os resultados demonstraram-se favoráveis a uma boa correlação de valores. É necessário que seja reforçada a importância estratigráfica, estrutural e da susceptibilidade ao intemperismo da camada envolvida, neste tipo de trabalho.

ABSTRACT

The forecast of the excavability of sedimentary rocks is a frequent, complex and practical problem in the day to day engineering geology. Some of the main complexities are the weathering in tropical environment and the fast development of excavation tools. The large quantities of sedimentary rocks in the extense Brazilian sedimentary basins turns the question into a regional one to be solved aiming cost and environmental impact reductions.

Having in hand seismic velocities and Standard Penetration Data from the Design stage we tried to establish correlation parameters using the information available in the final stage of excavation, to define a prevision x reality correlation. A numerical index used to better quantify this degree of correlation was chosen to be the sclerometric Schmidt Index.

The data here studied concern silt- and sandstones and results showed fair to good correlation values. It has however to be stressed the importance of stratigraphic, structural and weathering susceptibility of the envolved strata in this kind of work.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A escarificabilidade é a capacidade da rocha de ser desagregada pelos chamados escarificadores (*rippers*), equipamentos de acionamento hidráulico, compostos de um ou mais dentes montados na traseira de tratores e *patrols* (Redaelli & Cerello, 1998). Sua finalidade é a de romper a resistência de solos muito compactos durante seu desmonte. É utilizada em projetos de engenharia que envolve escavação de solos e rochas, como na construção de rodovias, ferrovias e minerações a céu aberto.

Face aos graus de intemperismo freqüentemente elevados em profundidade, a previsão da escarificabilidade de rochas e solos em regiões de clima tropical tem sido um problema de solução relativamente difícil. A transição de materiais totalmente desagregáveis ou desagregados (solos) para rocha firme proporciona uma ampla gama de características geomecânicas.

Em projetos de escavação de rodovias, galerias e outras obras, freqüentemente fica a cargo do Geólogo predefinir as diferentes categorias de escavabilidade. Tal previsão se reveste de acentuada importância, dada a diferença acentuada entre o custo e tempo necessários para a escavação de uma ou outra categoria.

Este problema, relativamente diferenciável no caso de rochas ígneas de elevada resistência mecânica, torna-se mais complexo quando se trata de rochas sedimentares com diferentes graus de litificação e vários estágios de alteração intempéricas sobrepostos.

Em algumas, o grau de litificação pode ser baixo com características de solos intensamente compactados, dificultando a distinção solo-rocha nas aplicações práticas. Poderá ocorrer mudança gradual da consistência do material de solo para rocha branda, e de rocha branda para medianamente dura, dificultando o trabalho de classificação.

O território brasileiro apresenta muitas bacias sedimentares que são compostas por rochas classificadas como brandas (arenitos, siltitos, folhelhos, etc), em que muito desses maciços têm possibilidade de serem escavados com o uso de diferentes tipos de escarificadores.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é investigar os parâmetros já disponíveis em escavações de rochas sedimentares bem como aqueles aqui pesquisados e levantados neste trabalho. Escolhido um local representativo de algumas litologias sedimentares,

pretende-se coletar um acervo de dados pré-existentes usuais nos trabalhos correntes e aferir as características geomecânicas como ferramenta susceptível de quantificação. A partir daí, mediante comparação e análise dos mesmos, poderão ser determinados alguns índices de correlação, eventualmente utilizáveis no estudo do comportamento desses maciços quanto à previsão de escavabilidade.

Os materiais escolhidos foram em rochas sedimentares clásticas do Supergrupo Tubarão, Grupo Itararé Indiviso que vem sendo escavados em construção, em andamento, de rodovia no interior do Estado de São Paulo. Algumas medidas foram tomadas nas rochas sedimentares do Grupo Guatá, Formação Tatuí, objetivando melhores correlações dos índices analisados.

Foram correlacionados Velocidades Sísmicas e números de golpe SPT (ensaio de resistência à penetração com amostrador padrão), já disponíveis, com as características mineralógicas e estruturais (presença de minerais expansivos e padrões de fraturamento) e de esclerometria Schmidt dos materiais.

No meio profissional, são comumente usadas tabelas de velocidade de ondas sísmicas, desenvolvidas a partir de 1958, pela Caterpillar (fabricante de tratores e escarificadores) e consagradas na previsão de estudos estatísticos para diversos tipos de rocha e desempenho dos equipamentos de escavação (Smith, 1986 *in* Tammerik, 1994) (Anexo 1).

Redaelli & Cerello (1998) apresentam a tabela de correlação entre velocidade sísmica e escavabilidade em caráter preliminar, abaixo.

VELOCIDADE DE ONDAS SÔNICAS (M/S)	CARACTERÍSTICA DO MATERIAL	CATEGORIA DO MATERIAL
300 a 800	escavável (equipamento normal)	1 ^a
800 a 2200	escarificável (trator D-9)	1 ^a
2200 a 2600	transição	2 ^a
> 2600	escavação por explosivo	3 ^a

Redaelli & Cerello, 1998

Em virtude das dificuldades encontradas para classificação dos maciços mencionados quanto à escarificabilidade em termos quantitativos, tentamos verificar a utilidade de índices esclerométricos (IE), na tentativa de se obter mais um parâmetro de aferição com os demais parâmetros adotados.

Na busca de um índice de correlação, o SPT e o índice esclerométrico (IE) serão analisados em função da velocidade sísmica naqueles materiais, levando-se em consideração os aspectos mineralógicos e estruturais, dados estes que serão relacionados para uma possível previsão da escarificabilidade em rochas sedimentares.

1.3 Justificativas

Embora o assunto se revista de importância prática indubitável, a literatura a respeito é extremamente pobre, cabendo a elaboração de trabalhos detalhados neste sentido. Visa-se contribuir no desenvolvimento da utilização integrada de métodos relativamente expeditos e baratos: como a sísmica de refração, o exame geológico de campo com auxílio de canivete e martelo e o uso de sondagens à percussão (SPT).

Teoricamente os dados de Velocidades Sísmicas de refração juntamente com os de Esclerometria Schmidt, coletados nas paredes do corte, deveriam apresentar algum índice de correlação direta por serem ambos proporcionais à resistência dos materiais à compressão e o mesmo acontecendo com os índices de sondagem à percussão SPT. O problema é tentar estabelecer índices quantificáveis na previsão do grau de escarificabilidade. Os dados geológicos compostos pelas características mineralógicas e estruturais dos materiais, bem como observação tático/visual, também auxiliam nesta previsão.

O uso do Esclerômetro Schmidt neste trabalho deve-se também à extrema simplicidade operacional, ao caráter de ensaio não destrutivo, ao baixo custo do aparelho, à rapidez das medidas e o fato de ser suficientemente preciso quando utilizado com outras técnicas de prospecção.

A classificação ainda corrente dos materiais em termos de escavação automatizada é bastante simplificada, porém está baseada no equipamento capaz de realizar economicamente o desmonte. O DNER agrupou inicialmente os materiais de superfície em “três categorias de materiais de escavação”, no que foi mais tarde seguido por outros órgãos (IPT, PETROBRÁS e CESP) similares com modificações menores. São estas:

1^a Categoria ou Solo: escavável por ferramentas manuais tipo pá e picareta ou *scraper*.

2^a Categoria ou Categoria de Transição: escavável somente por escarificador (*ripper*) ou com auxílio localizado de explosivos (2^a com *ripper* ou 2^a com fogo) para redução de matações ou núcleos localizados de rocha dura;

3^a Categoria ou rocha: somente removível por uso de explosivos;

No caso dos materiais escarificáveis a subdivisão não entra em detalhes maiores quanto ao tipo de escarificador, se com um, dois ou três dentes, além do tipo de trator (D7, D8, D9 e D10).

O principal critério que intervém na classificação dos materiais de superfície a serem escavados é o de maior ou menor dificuldade ou resistência que oferece ao desmonte. Daí a importância do estabelecimento do grau de escavabilidade no empreendimento.

Através da determinação mais precisa da categoria em que se encaixa o material, é possível recomendar os melhores métodos para sua escavação (Ricardo & Catalani, 1978).

As classificações nas diferentes categorias corresponderão a preços unitários de escavação bastante diversos, cujos custos de remuneração nas respectivas categorias irão variar na proporção aproximada de 1:2:6 (D.E.R.-SP *in* Ricardo & Catalani, 1978).

O erro na determinação dos limites espaciais de cada categoria de escavação pode levar a prejuízos financeiros significativos e até ao abandono de uma obra. Assim o critério de classificação dos materiais integra todos os dados adquiridos pelos diferentes métodos de investigação de maciços, evitando a possibilidade de prejuízos.

As maiores dificuldades residem na faixa de transição da 1^a para a 2^a categoria, onde a escarificabilidade dependerá da ocorrência de condições geológicas favoráveis, tais como estratificação e fratura das camadas, que facilitará ou não a aplicação dos escarificadores de forma econômica.

A escavação de material de 2^a categoria com explosivos (2^aB), por vezes, é necessária quando o trator com o escarificador não conseguir arrancar sozinho todo o material. Neste caso, os núcleos de material que não puderam ser rompidos pelo escarificador, são perfurados e detonados.

1.4 Localização da Área

A área de estudo está localizada ao longo do trecho recentemente construído da extensão da Rodovia dos Bandeirantes, entre Campinas e Limeira, no Estado de São Paulo (Figura 1). Os cortes analisados foram divididos em dois perfis, mais precisamente:

Perfil 1 - entre Campinas e Hortolândia, onde a obra está concluída e os cortes envolvem rochas sedimentares (siltitos e arenitos) do Grupo Itataré;

Perfil 2 – entre Limeira e Cordeirópolis (a NW de Limeira) onde a obra não está totalmente concluída e os cortes envolvem rochas sedimentares (siltitos e arenitos calcíferos) do Grupo Guatá, Formação Tatuí.

1.5 Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica foi elaborada a partir de trabalhos e publicações relacionados aos parâmetros aqui utilizados, como sondagens, SPT, sísmica de refração, normas técnicas para descrição de materiais e esclerometria Schmidt. Estes foram de grande relevância para a realização do tema proposto já que analisados de maneira global, proporcionando a fundamentação necessária à abordagem em toda sua amplitude. No



Figura 1 Localização da área e vias de acesso representado pelo tracejado verde, correspondente ao Prolongamento da Rodovia dos Bandeirantes, sob a concessão da AutoBan.

entanto, o interesse imediato recai sobre a esclerometria Schmidt dos materiais, onde se constata uma raridade de trabalhos específicos anteriormente executados.

A classificação baseada em velocidade de ondas sísmicas é comumente usada no meio técnico, devido à facilidade de aplicação e de obtenção de resultados no campo. As tabelas da Caterpillar (ANEXO 1) que são muito utilizadas nestes trabalhos, relacionam para cada tipo litológico e equipamento, as velocidades sísmicas e suas possibilidades de escarificação. Consta ainda destas tabelas os tipos litológicos e os intervalos de variação das velocidades sísmicas correspondentes. Os intervalos são subdivididos em faixas de velocidades onde o material poderá ser classificado como escarificável, indeterminado ou não escarificável.

Meyer & Lessa (1978) fizeram algumas considerações que devem ser levadas em conta sempre que se efetua o emprego dessas tabelas. Primeiro, elas apresentam quase sempre uma margem de erro pelo fato de que as rochas não necessariamente apresentam fácies e condições de alteração iguais em todas as regiões. Os maciços que foram utilizados na elaboração das tabelas diferem daqueles de regiões tropicais que apresentam feições de intemperismo e, portanto determinam comportamentos geomecânicos distintos dos localizados em zonas temperadas. Segundo, que são bastante simplificadas, não apresentando todos os tipos litológicos como também não os caracterizam quanto ao modo de ocorrência, descontinuidades, heterogeneidades e tipo/grau de alteração, que são elementos essenciais à definição de escarificabilidade.

Mas, apesar destes pontos citados acima, as normas estabelecidas nas tabelas Caterpillar se constituem em um ponto de partida interessante na previsão da escarificabilidade desde que, para cada caso especial, adicione as condições geológicas locais.

Tammerik (1994) apresenta em seu trabalho as classificações geomecânicas existentes, procurando discutir os métodos mais adequados para determinação da escarificabilidade, com ênfase nas classificações dos maciços constituídos por rochas sedimentares brandas. Uma descrição sucinta destas classificações vem a seguir:

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

Este autor desenvolveu um sistema de classificação de maciços em que se baseia na atribuição de notas aos seguintes parâmetros: velocidade de propagação de ondas sísmicas, grau de alteração da rocha, dureza da rocha, atitude das descontinuidades, 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 fez uma avaliação crítica do trabalho de Weaver, posicionando-se contra a adoção de um sistema que utiliza a somatória de parâmetros e a velocidade de ondas sísmicas na avaliação do maciço. Ele elaborou um sistema de avaliação de escavabilidade de maciços que abrange desde solos e detritos até rochas muito duras, baseando-se na expressão, um tanto parecida, em alguns parâmetros, com a Q do NGI (Norwegian Geotechnical Institute):

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

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

Ms: resistência do maciço;

RQD: "rock quality designation" ou Índice de qualidade de Rocha de Deere;

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 descontinuidades;

Já: Índice de alteração das paredes das descontinuidades;

O sistema de Kirsten (op. cit.) inclui os equipamentos que devem ser utilizados na escavação, relacionando o índice de escavação (N) e a potência do trator. Como o índice de escavação e a potência do trator variam em progressão logarítmica, as várias classes de escavação vão corresponder a um acréscimo de esforço motor para escavar.

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

Smith utiliza em sua classificação de maciços rochosos parâmetros como os 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"), que correlaciona o RR com as velocidades de ondas sísmicas e a potência e rendimento do equipamento a ser utilizado.

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 continuas	pouco alterada continuas	continuas sem preenchimento	continuas com algum preenchimento	continuas 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

Figura 2 - 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 para a classificação de maciços rochosos parâmetros como: velocidade de ondas sísmicas, alteração de maciço, resistência à tração, abrasividade do material e espaçamento de descontinuidades. Para cada um deles é atribuída uma nota e o resultado da somatória das notas determina o grau de escavabilidade do maciço. Com o resultado é sugerido o melhor equipamento a ser utilizado em cada caso (Tabela 2).

Parâmetros	Classe da 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	D10 ou escavação a fogo	-

Figura 3 - Determinação da escavabilidade de maciços. (modificada de Singh, Denby, Egretli & Pathan, 1985, *in Tammerik et al., 1994*).

Quanto ao uso do esclerômetro de Schmidt, classicamente exposto em Hendron (1968, *in Stagg & Zienkiewicz*), Guidicini et al. (1973) apresenta um estudo realizado pelo IPT na caracterização de diferentes maciços rochosos usando o esclerômetro. Este modelo de aparelho, o mais indicado para rochas, foi utilizado pelo IPT em ensaios “*in situ*”, onde a intenção era de averiguar as possibilidades de emprego do esclerômetro tipo Schmidt na caracterização geotécnica preliminar de meios rochosos.

Na tentativa de levar o método esclerométrico ao campo, Guidicini et al. (1973) cita as conclusões deste estudo:

- A simplicidade no manuseio do esclerômetro tipo Schmidt é a grande vantagem apresentada pelo método, na tentativa de utilizá-lo na caracterização de materiais rochosos “*in situ*”.

- O método exige a aplicação de uma "correção diária" das medidas, resultante de mudanças nas "respostas" do aparelho ao longo do tempo, através de aferição em bigorna apropriada.
- O método exige a aplicação de uma "correção por efeito de inclinação" do aparelho através de ábacos de correção.
- O objetivo de se transformar os índices esclerométricos (IE) obtidos em valores equivalentes de compressão axial foi realizada no sentido de se multiplicar o IE pela densidade aparente seca da rocha. Para avaliar a validade do método esclerométrico comparou-se os dados obtidos por esclerometria com resultados de ensaios de compressão realizados nos mesmos materiais, considerando o grau de confiança de cada método.
- Observou-se que para rochas de resistência elevada o método esclerométrico fornece valores de tensão de ruptura maiores que o método de compressão puntiforme. E por outro lado, para rochas de baixa resistência há uma tendência nítida a se obter com o primeiro método valores inferiores aos do segundo.
- Não há concordância na literatura sobre a forma de se proceder a execução dos ensaios num ponto, questiona-se quanto ao fato de se fazer uma operação de percussão ou várias num mesmo ponto. Este aspecto só se torna importante quando se tratar de rochas brandas, pois para rochas de elevada resistência esta discussão não tem qualquer significado.
- Recomenda-se sua utilização, no mínimo, com outras técnicas de prospecção, pois seu emprego isoladamente não fornece parâmetros representativos na caracterização geotécnica.

1.6 Desenvolvimento do Trabalho

Visando prever o grau de escarificabilidade em rochas sedimentares o trabalho foi dividido em quatro etapas, a saber:

- levantamentos bibliográficos;
- análise de dados disponíveis;
- trabalho de campo;
- correlações entre os parâmetros analisados.

Deve se considerar que análises utilizando a esclerometria Schmidt para avaliação da resistência de maciços rochosos não são comumente encontradas. O martelo de Schmidt é largamente aplicado no reconhecimento da qualidade e resistência do concreto, onde estão disponíveis alguns ábacos próprios para isso. No entanto quanto às rochas, principalmente as sedimentares, os ábacos e estudos a respeito são limitados.

Após a determinação da metodologia a ser adotada e de como coletar os índices esclerométricos (IE) em campo, passou-se para a fase de análise de dados disponíveis. Esta foi realizada com base na confecção de perfis geológicos-geotécnicos da área de estudo. Serviram na preparação do trabalho de campo e na escolha de pontos estratégicos para realização dos ensaios. Estes pontos pré-determinados envolveram os parâmetros já disponíveis previamente ao estudo. Foram eles: sondagens, Standard Penetration Test (SPT) e Sísmica de refração (velocidade de ondas elásticas).

Posteriormente chegou-se a etapa de campo com os lugares para amostragem do índice esclerométrico (IE) já pré-determinados nos perfis. O trabalho de campo envolveu também a observação tático/visual dos materiais e dos aspectos geológico-geotécnicos da obra. Foi realizado em dia ensolarado com os materiais devidamente "secos" e, portanto, aptos ao ensaio. Como os cortes da rodovia foram concretizados em tempo relativamente recente, foi favorecida a observação das porções em que o material foi classificado como de 1^a, 2^a e 2^aB ou 3^a categoria (Anexo 2) no projeto original.

O ensaio esclerométrico nas rochas areníticas do Grupo Itararé é o aspecto prático imediato deste trabalho. Para fins de comparação e interpretação, algumas medidas nas rochas clásticas finas da Formação Tatuí foram realizadas.

Após a etapa de campo efetivou-se a devida correlação dos parâmetros disponíveis através da construção de tabelas e gráficos. Sua análise e interpretação foram importantes na busca de um índice que eventualmente pudesse ser utilizado em obras que envolvessem escavação e remoção de solos e rochas sedimentares.

2. GEOLOGIA

2.1 Geologia Regional

Grupo Itararé

O Grupo Itararé foi primeiramente denominado Tubarão por White (1908) *apud* DNPM (op.cit.) para denominar o conjunto de rochas contendo leitos glaciais, bem como as camadas carboníferas com plantas fósseis na região do rio Tubarão, em Santa Catarina.

Oliveira (1916, in: Muhlmann et al. (1974) *apud* DNPM (op. cit.) restringiu o emprego do termo, denominado como Série Tubarão apenas as camadas contendo carvão e plantas fósseis. Para o conjunto de rochas contendo leitos glaciais empregou o termo Série Itararé.

Gordon Jr. (1947) e também Maack, no mesmo ano *apud* DNPM (op. cit.), empregaram a denominação de Série Tubarão de uma maneira mais ampla, retornando aos conceitos originais de White (1908). Esta conceituação, de uma maneira geral, foi mantida nos trabalhos subsequentes tendo sido, no entanto, empregada na categoria de grupo por

LEGENDA

- Qa** Depósitos Aluviais
- Qrc** FORMAÇÃO RIO CLARO: Arenitos pouco consolidados, finos a médios subsidiariamente cascalhos e argilitos
- Jksg** FORMAÇÃO SERRA GERAL: Seqüência de lavas basálticas toleíticas, com intercalações de arenitos finos a médios. Soleiras de diabásio
- Trp** FORMAÇÃO PIRAMBÓIA: Arenitos médios a muito finos e argilosos, ocasionalmente grosseiros, de estratificação plano-paralela e cruzada, com intercalações de siltitos, argilitos e arenitos conglomeráticos
- Pc** FORMAÇÃO CORUMBATAÍ: Argilitos e arenitos finos e argilosos, localmente bancos calcíferos (seção superior); argilitos, folhelhos e siltitos, com concreções calcíferas e leitos de calcários silicificados (seção inferior)
- Pt** FORMAÇÃO IRATI: Alternância rítmicas de folhelhos e calcários dolomíticos (seção superior); siltitos e folhelhos, com nível conglomerático basal (seção inferior)
- Pts** GRUPO GUATÁ- FORMAÇÃO TATUÍ: Siltitos arenosos, locamente finas camadas e concreções de silex e arenitos médios e biotíticos, com estratificação cruzada (seção superior); siltitos arenosos e argilosos, em parte calcíferos, com subordinados corpos de arenitos muito finos a médios (seção inferior)
- Cpi** GRUPO ITARARÉ INDIVISO: Arenitos, às vezes conglomeráticos, com estratificação plano-paralela e cruzada; conglomerados e diamictitos; subordinadamente siltitos, rítmicos e folhelhos (ITARARÉ); arenitos grosseiros à muito finos com estratificação cruzada; diamictitos passando para lamitos arenosos e siltico-argilosos, siltitos (Aquiaudana)
- Ele** FORMAÇÃO ELEUTÉRIO: Maciços graníticos diferenciados, tardi a pós-orogênicos
- Vrg** COMPLEXO VARGINHA: Migmatitos com estruturas diversas e paleossomas de rochas granulíticas e básica, envolvendo granulitos róseos, charnoquitos e anfíbolitos e unidades mistas, envolvendo migmatitos de tramas heterogêneas porfiroblásticas

ÁREA DE ESTUDO

A1 ROCHAS SEDIMENTARES DO GRUPO ITARARÉ

A2 ROCHAS SEDIMENTARES DO GRUPO GUATÁ - FORMAÇÃO TATUÍ

MAPA GEOLÓGICO

FONTE: Extraído e Modificado de Projeto Sapucaí (1979)
 Mapa Geológico: Folha Campinas / SF. 23 - Y - A
 Ministério das Minas e Energia/
 Departamento Nacional de Produção Mineral

Figura 4 - Mapa Geológico da Região

ESCALA
1: 250.000 0 2.500 10.000 m



Northfleet et. al. (1969) *apud* DNPM (op. cit.). Almeida (1954) *apud* DNPM (op. cit.) denominou a seção equivalente à Série Tubarão, no Estado de Mato Grosso, de Série Aquidauana.

Muhlmann et al. (op.cit) elevaram o termo Tubarão para a categoria Super-Grupo, dividindo-o nos Grupos Itararé e Guatá, classificação que é adotada no presente trabalho (Figura 4). Este autor definiu o Grupo Itararé como compreendendo a seqüência sedimentar de idade permo-carbonífera, cujos depósitos são caracterizados por diamictitos que refletem influências glaciais nos seus diferentes ambientes deposicionais.

Northfleet et al. *apud* DNPM (op. cit.) propuseram a divisão da unidade nas formações Aquidauana e Itararé, classificação esta adotada por Andrade & Soares (1971) no estado de São Paulo.

O trabalho de revisão estratigráfica da bacia do Paraná, realizado por Muhlmann et al. (op.cit), baseado na integração de diversos dados existentes, dividiu o grupo Itararé, nos estados do Paraná e Santa Catarina, nas formações Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul. Em Goiás e Mato Grosso, o Grupo estaria representado apenas pela formação Aquidauana, contemporânea ou mesmo contínua com a Formação Campo do Tenente. No estado de São Paulo, entretanto, embora a Formação Aquidauana seja bem reconhecida, o Grupo Itararé foi mantido Indiviso, por falta de trabalho de detalhe, que permitam sua divisão nas unidades acima, com o que o DNPM concorda.

Segundo Soares et al. (1974), a seção inferior do Grupo Itararé correspondente à Formação Aquidauana é constituída por sedimentos essencialmente arenosos, com granulometria desde grosseira até muito fina e matriz argilosa, além de diamictitos, de cor vermelho-tijolo com seixos e matações de pequena proporção. A seção superior correspondente a "Formação Itararé" praticamente desaparece as características vermelhas da seqüência inferior e dominam clásticos grosseiros, arenitos, conglomerados, diamictitos, com subordinação de siltitos, ritmitos e folhelhos. A idade destas estende-se do Carbonífero Superior ao Permiano Médio.

Segundo a maioria dos autores citados acima, a seqüência inferior do Grupo Itararé predominou uma sedimentação continental, não havendo, ao que parece, uma contribuição marinha. E na seqüência superior ocorrem depósitos glaciais, flúvio-glaciais, marinhos, transitivos e continentais.

Grupo Guatá – Formação Tatuí

O Grupo Guatá comprehende a seqüência sedimentar de idade permiana, constituída por siltitos e arenitos com intercalações de camadas de carvão e folhelhos carbonosos, sobrepostos ao Grupo Itararé e sotopostos à Formação Irati.

A denominação de Grupo Guatá foi proposta por Godon Jr. *apud* DNPM (op. cit.), para caracterizar o conjunto de rochas acima referido, equivalentes à parte superior da Série Tubarão, de White (1908) *apud* DNPM (op. cit.).

A Formação Tatuí foi redefinida por Soares (1972) *apud* DNPM (op. cit.), para representar um pacote de siltitos arenosos, arenitos e camadas de sílex, de cores arroxeadas no membro inferior e amarelo-esverdeadas no superior, assentado sobre o Grupo Itararé, em discordância erosiva.

O termo Formação Tatuí, dividido em membros inferior e superior, vem sendo muito empregado e esta classificação é também adotada no trabalho realizado pelo DNPM (op.cit.).

O membro inferior da Formação Tatuí, correspondente ao Membro Paraguaçu da Formação Rio Bonito (Muhlmann et al., *apud* DNPM op.cit.), é representado por um pacote de siltitos arenosos de cor marrom-avermelhada a arroxeadas, localmente com manchas esverdeadas, argilosos, em parte calcíferos, dominantemente maciços; subordinadamente ocorrem corpos de arenitos de granulação muito fina, às vezes média, avermelhados. O membro superior, equivalente à Formação Palermo, constitui-se de siltitos arenosos, de cor esverdeada a amarela, localmente apresentando finas camadas e concreções de sílex. A idade desta seqüência de rochas estende-se do Permiano Médio ao Superior.

Segundo Muhlmann et al. (1974) *apud* DNPM (op. cit.), a sedimentação da seqüência correspondente ao Tatuí inferior ocorreu em um ambiente marinho que transgrediu sobre uma ampla plataforma rasa, recobrindo os sedimentos do Grupo Itararé, anteriormente expostos à erosão. Com relação aos sedimentos correspondentes ao Tatuí superior, ainda segundo aqueles autores, suas características litológicas e sedimentares indicam que os mesmos foram também depositados em uma extensa plataforma rasa, durante uma fase transgressiva.

2.2 Geologia Local

Grupo Itararé – Perfil 1

As rochas aqui analisadas pertencem à seção superior do Grupo Itararé e conforme descrito acima estão relacionadas a depósitos glaciais, flúvio-glaciais, marinhos, transitivos e continentais.

Ao longo do perfil 1 ocorrem siltitos negros a cinza bandados com camadas de arenitos finos siltosos amarelados e cinzas (Foto 1, ANEXO 3) que se encontram decompostos nas porções superiores em solos siltosos geralmente amarelos a variegados. Trata-se de típica rocha branda a média, estratificada.

Arenitos cinzas ou amarelo-claro e também de coloração esbranquiçada (Foto 2 ANEXO 3), são classificados como rocha branda, porém proporcionam maior desgaste de

ferramentas que os siltitos. Apresentam localmente seixos esparsos de diferentes dimensões e composição sendo então caracterizados como diamictitos (Foto 3 ANEXO 3), podendo ser depósitos provenientes do carreamento e deposição em fluxos de água de degelo. Alguns são mais feldspáticos tendendo a se decompor em areias argilosas variegadas ou vermelhas. As porções superiores são compostas por solos arenosos e areno-argilosos vermelho alaranjado e variegado.

Siltito arenoso marrom praticamente sã a medianamente alterado sob camadas de solos areno-siltosos fofos ou pouco compactos. O siltito arenoso pouco alterado quando ressecado apresenta consistência aparente elevada.

Argilito siltoso amarelo medianamente alterado, razoavelmente compacto, sob solos de cobertura argilosos vermelho e variegados.

Grupo Guatá – Formação Tatuí – Perfil 2

As rochas aqui analisadas pertencem ao membro inferior da Formação Tatuí e conforme descrito acima ocorreu em um ambiente marinho que transgrediu sobre uma ampla plataforma rasa, recobrindo os sedimentos do Grupo Itararé.

Neste trecho a litologia dominante são os siltitos roxos, cinzas e amarelados bandados, maciço, classificável como típica rocha branda à média, estratificada (Foto 4 ANEXO 3).

Camadas de arenito fino calcífero branco, muito compacto encontram-se intercalados aos siltitos, em um acamamento sub-horizontal. Nas porções superiores do afloramento camadas de folhelhos negro é observada (Foto 5 ,ANEXO 3).

Os solos resultantes da alteração destas rochas são siltosos amarelo a amarelo-avermelhado de compacidade variável, tornando-se por vezes argilosos em superfície.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica serviu de subsídio para o presente trabalho visando a familiarização com os principais métodos e técnicas envolvidos no projeto, além de inserir o estudo dentro do desenvolvimento histórico do tema.

Foram consultados trabalhos envolvendo a sísmica de refração aplicada aos ensaios de Sondagem à Percussão (Standard Penetration Test - SPT), as tabelas para classificação de terrenos e suas classificações geomecânicas, a caracterização de maciços quanto a escavabilidade, e também sobre o uso do martelo de Schmidt, mais raros.

Ensaios de sísmica de refração visando estudos de escavabilidade datam sobretudo dos anos 60, sínteses e Estados da Arte sobre o SPT foram desenvolvidos principalmente por dois autores nacionais, De Mello(1971) e Decourt (1989). O uso do esclerômetro de Schmidt na classificação geomecânica das rochas já é descrito em Hendron (1968) bem como em trabalhos mais recentes.

3.2 Análise de Dados Geotécnicos/Geomecânicos

3.2.1 Sondagens

As sondagens executadas no local desta pesquisa e seus respectivos boletins já estavam disponíveis previamente a este estudo. São compostas por poços, sondagens a trado e sondagens a percussão e algumas rotativas, todas utilizadas na caracterização das litologias da área.

As sondagens a percussão foram as mais utilizadas na confecção dos perfis, servindo os outros dois tipos de sondagem para amarração dos pontos. Os valores de SPT nelas foram utilizados após análise criteriosa.

As sondagens foram analisadas nas etapas pré e pós-trabalho de campo. Primeiramente, no reconhecimento antecipado dos pontos a serem amostrados com esclerometria Schmidt, e posteriormente, na comparação e interpretação destes dados.

3.2.2 Standart Penetration Test (SPT)

Os ensaios de SPT correlacionados às sondagens a percussão estão normalizados através da Norma Brasileira (NBR 6484). Este parâmetro é o mais disponível entre todos os outros utilizados, oferecendo a resistência (N) do subsolo à cravação do amostrador padrão, por metro perfurado. Seus valores serviriam originalmente de base para correlações com a velocidade sísmica em trabalhos de previsão da escavabilidade de materiais. Conta-se o número de golpes necessários para cravação de 30 cm de um amostrador padrão, através da queda de um martelo de 65 kg, lançado de uma altura de 75 cm.

Deve-se atentar ao fato de que resistências SPT maiores de quarenta (40) constantes em diferentes perfis profissionais são valores altamente questionáveis, não tendo necessariamente um sentido prático. A sensibilidade durante o teste, quanto à resposta elástica e as perdas de energia é grande, uma vez que não ocorre realmente a penetração da ferramenta de teste, podendo esta também estar sendo danificada. A profundidade é outro fator que pode proporcionar distorções nos valores, principalmente onde o SPT é elevado.

No que diz respeito a relação do SPT dos primeiros 30 cm com os últimos 30 cm de cravação, esta pode eventualmente servir como medida da sensibilidade dos materiais ao amolgamento, devendo-se no entanto utilizar os valores dos últimos 30 cm. (Prof. Sadowski comunicação pessoal).

Há ainda discussões quanto ao valor do SPT a ser tomado perante as diferentes condições de ensaio, profundidades e tipos de solo, quanto à granulometria (Decourt, 1997).

3.3 Análise de Dados Geofísicos

Os levantamentos sísmicos por refração, nas áreas de corte da rodovia, foram realizados com o objetivo de determinar as velocidades de propagação de ondas sísmicas dos diferentes materiais (solo e rocha) e relacioná-los com a escarificabilidade. São valores que, como os de SPT, já estavam disponíveis e se constituem em ferramenta essencial nesta tentativa da previsão de escarificabilidade. Os parâmetros serão analisados em função desta variável, servindo de termômetro analítico para as interpretações.

Teve-se acesso aos gráficos tempo-distância e consequentemente aos valores das profundidades das interfaces com as velocidades sísmicas nos materiais. Segundo Relatório Técnico supervisionado por Taioli, para as áreas de corte do município de Limeira, os métodos de cálculo utilizados para a definição das profundidades, foram o de tempo de intercepção ("intercept time") e o de distância de cruzamento ("crossover distance"), com as devidas correções topográficas, e, dependendo da curva tempo-distância obtida, adotou-se o menor erro.

De posse dos dados, foram lançados nos perfis e sobreposto com os demais (ANEXO 8). Em três pontos foi preciso estipular a velocidade, tomando como referência a base geofísica mais próxima e a correlação com o SPT encontrado. Os gráficos (ANEXO 6) mostram os valores de SPT e esclerometria Schmidt, ambos, em função da velocidade sísmica.

Por último os dados de velocidade sísmica nos pontos amostrados foram plotados nas tabelas Caterpillar cujos resultados se encontram em anexo (ANEXO 1). Estas tabelas indicam o trator e o tipo de escarificador que vem acoplado a ele, sendo que o mais potente para tração do material é o trator D10 com porta ponta simples (escarificador com dente único).

3.4 Ensaios de Campo

3.4.1 Esclerometria Schmidt dos Materiais

O esclerômetro (martelo) de Schmidt caracteriza-se por um ensaio onde se determina a dureza de um material. Seu funcionamento se resume na energia que se acumula na mola interna do aparelho, no momento em que o percussor é pressionado contra o afioramento, a qual automaticamente libera energia para o percussor. O índice esclerométrico fica registrado num marcador acoplado ao aparelho (Foto 6, ANEXO 3), registrando o nível da energia de impacto do percussor contra o material analisado. O marcador possui uma escala de dureza que vai de dez a cem e que representa este índice (IE). Esta medida de dureza é chamada Dureza Schmidt ou Esclerometria Schmidt do material.

O procedimento de campo para amostragem se apoiou na experiência do IPT Guidicini (1973), como também nos trabalhos de Hoek (1998) e de Brown (1981), op. cit..

O esclerômetro utilizado por nós e pelo IPT é o tipo L, produzido pela Soiltest Inc. sob a denominação RM-710.

Os aspectos mais importantes levantados foram:

- polimento e uniformização das áreas para ensaios;
- execução de 10 impactos sucessivos em cada ponto;
- manutenção do esclerômetro foi horizontalmente sobre a superfície da rocha ensaiada, menos no ponto 2, pois não era possível realizá-lo como os demais. Neste caso a medida foi corrigida em ábaco próprio (ANEXO 4);
- não realização de na proximidade de fraturas, arestas e superfícies molhadas, bem como em ensaios que tenham produzido trincamento ou lascamento do ponto ensaiado;
- estabelecimento de procedimento do valor médio de IE, o Fator de Correção, sendo este com a finalidade de corrigir a leitura devido a descalibração do aparelho. Antes de levar o aparelho ao campo, este foi calibrado em bigorna específica fornecida pelo fabricante, no qual obteve-se um índice inicial de aferição na bigorna, usado na correção (ANEXO 5)
- utilização de somente metade dos valores (50% maiores), foi no cálculo da média aritmética do índice esclerométrico (IE) (ANEXO 5).

Alguns esclarecimentos devem ser fornecidos quanto aos procedimentos anteriores, já que no Ponto 1, o ensaio foi na porção clara (Foto 1, ANEXO 3) enquanto que no arenito fino siltoso foi na porção acinzentada, pois o siltito cinza apresenta-se com propriedades de pastilhamento e em consequência disto se fratura facilmente, descaracterizando o ensaio. Outro fator essencial é que o trabalho de campo foi em dia ensolarado e com os materiais ressecados, portanto aptos ao ensaio.

Estes parâmetros juntamente com os de SPT, foram classificados em função da velocidade sísmica procurando uma eventual correlação entre eles na previsão da escarificabilidade.

3.4.1 Observação Tátil/Visual dos Materiais

O uso de canivete, martelo e ácido clorídrico foi empregado na análise tátil do material (características mineralógicas), enquanto que da observação visual faz parte principalmente o padrão de fraturamento (dados estruturais).

Quanto à observação das litologias, estas sempre foram comparadas àquelas descritas nos boletins de sondagens, promovendo em alguns momentos uma certa discordância na sua denominação. O grau de alteração dos pontos analisados se encontram tabelados (ANEXO 5) tendo sido utilizada as designações preconizadas pela International Society of Rock Mechanics (1986).

Quanto às características estruturais deve-se ressaltar que o acamamento sedimentar é sub-horizontal nas rochas do Grupo Itararé e da Formação Tatuí e que o grau de fraturamento é de pouco fraturado (F1) a ocasionalmente fraturado (F2), sendo este último, pouco freqüente.

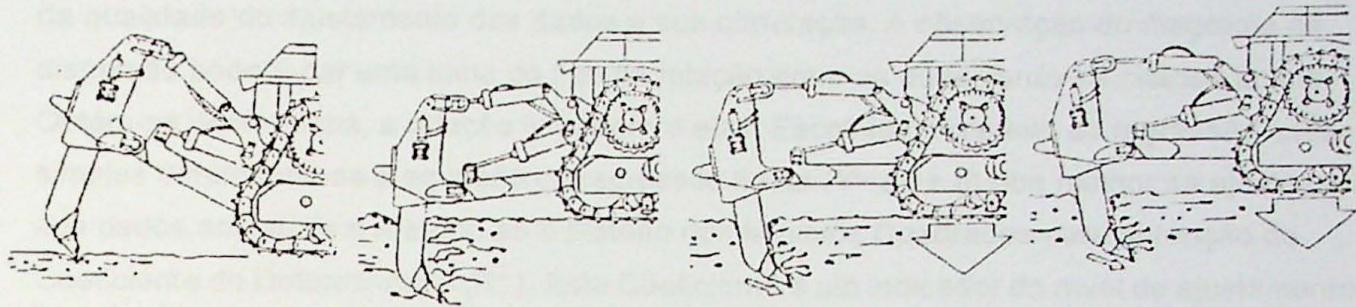
4. Aspectos Geotécnicos da Obra

As principais litologias consideradas no trabalho foram arenitos finos, arenitos finos siltosos, argilito siltoso, siltitos cinza e siltitos roxo.

Materiais como o siltito presente em muitos pontos de corte de estrada, são rochas que tendem a se deteriorar rapidamente em superfície, sofrendo desagregação perante os agentes intempéricos. Como consequência desta alteração tem-se o pastilhamento do material (Foto 1, ANEXO 3). Outra consequência está ligada a umidade, que promove a expansão e contração sucessiva dos minerais da rocha, influenciando na desagregação (Foto 6, ANEXO 3).

Presente ao longo dos cortes temos o arenito fino pertencente ao Grupo Itararé. Também é suscetível aos processos de dinâmica superficial, no qual pode vir a se desenvolver erosão linear, ravinamentos e até mesmo boçorocas. Sendo assim ambos devem receber as devidas proteções com o objetivo de amenizar e até mesmo conter tais processos.

Em relação aos métodos utilizados para escavação dos cortes, notou-se que algumas porções classificadas como de terceira categoria, poderiam ser escarificadas (2^a categoria), ou então escarificada com o uso de explosivos (categoria 2B) (ANEXO 2). Leva-se conta o modelo do trator e o tipo de escarificador a ser escolhido para tal função (ANEXO1). Porém, no caso de rochas sedimentares com acamamento subhorizontal, a escarificabilidade é complicada pela dificuldade de se engastar os dentes do escarificador num plano de fraqueza da rocha, para assim poder tracioná-la. (Figura 5)



(Figura 5) (Modificado de Tammerik, 1994) Mecanismo de escarificação: penetração do dente do escarificador e escarificação do maciço. Sua inclinação depende da natureza do material (litologia e estrutura)

Segue-se daí um baixo rendimento da produção. O uso de escarificadores pode tornar a obra mais lenta, opção que pode interferir no seu andamento. Mas, com a devida avaliação dos parâmetros durante o planejamento da obra e o acompanhamento na execução dos cortes, os pontos determinados como escarificáveis podem ser mais viáveis (menores custos) e funcionais que os explosivos. Como os aspectos econômicos da obra são desconhecidos, essas observações não foram discutidas, mas apenas examinadas superficialmente em relação ao tema proposto.

5. Resultados Obtidos

Com o levantamento de todos os parâmetros envolvidos e escolhida a metodologia a ser adotada, opto-use pela criação de um arquivo de dados e pelo modo de apresentá-los, conforme descrição abaixo:

- elaboração de tabela auxiliar (ANEXO 5) - representação em síntese de todos os parâmetros levantados neste trabalho ponto a ponto;

- elaboração de gráficos SPT versus Velocidade Sísmica (m/s) e Índice

Esclerométrico (IE) versus Velocidade Sísmica (m/s) (ANEXO 6) – preparação dos gráficos com base nas tabelas de dados em que valores de SPT (Sondagem Percussiva) e IE (Dureza de Schmidt) foram analisados em função da velocidade sísmica. Sob este enfoque efetuou-se a correlação dos dados visando a tentativa de se obter uma comparação que

pudesse ser utilizada nas interpretações. Para tanto se utilizou como instrumentos de construção o software Microsoft Excel, de simples construção, e que demonstra a análise estatística visual;

- elaboração de gráficos de Dispersão e do Coeficiente de Explicação ou Determinação (R^2) (ANEXO 7) – preparação de gráfico bidimensional denominado diagrama de dispersão para análise de regressão linear simples, onde cada valor é marcado em função das coordenadas de X e Y. Procede-se, em seguida ao exame do gráfico, a determinação do Coeficiente de Explicação ou Determinação (R^2), sendo este um indicador da qualidade do ajustamento dos dados e sua correlação. A observação do diagrama de dispersão poderá dar uma idéia do tipo de relação entre as duas variáveis citadas acima. Obtém-se desta forma, a relação linear entre elas. Escolhido o modelo da regressão linear simples determinou-se a equação de regressão linear ($Y = ax + b$) que melhor se ajustasse aos dados amostrais e efetuou-se o Método dos Mínimos Quadrados para obtenção do Coeficiente de Determinação (R^2). Este Coeficiente é um indicador do nível de ajustamento entre os gráficos citados acima e expressa a proporção da variação total que é devida à reta de regressão de x sobre y. Finalmente pode-se estabelecer uma possível relação funcional (matemática) entre as duas variáveis e, se a relação for boa, usá-la para fazer previsões.
- Plotagem dos valores de velocidade sísmica disponíveis, na tabelas Caterpillar (ANEXO 1) – lançamento dos valores nas tabelas cujos resultados obtidos indicando a possibilidade de escarificação dos maciços e os tipos de tratores mais adequados. Nota-se que certas rochas só poderão ser escarificadas se utilizado em seu desmonte um trator mais potente, como o D10 e que para outras (solo e rocha) pode-se escolher tratores menos potentes, devido a sua resistência inferior;
- Ilustração com croquis (ANEXO 8) – explicação de maneira didática dos estudos dos cortes de estrada, pela observação visual dos croquis, uma vez que neles estão plotados a Litologia, os valores de SPT, a Velocidade Sísmica, o Índice Esclerométrico, Grau de Alteração da Rocha, o Local da Amostragem como também a Classificação dos Materiais nas Categorias de Escavação.

6. Interpretação dos Resultados

Com base nos gráficos elaborados (Gráfico 1, 2 e 3; ANEXO 6) observa-se que:

- O Gráfico 1 (Velocidade Sísmica versus SPT das Rochas do Grupo Itararé – Perfil 1) apresenta uma discrepância do SPT em função da velocidade sísmica que se acentua bruscamente no ponto 5. Isto talvez tenha ocorrido porque neste ponto o Índice Esclerométrico foi obtido justamente na interface geofísica dos diferentes materiais (Velocidades Sísmicas V1 e V2) (Croqui 5, ANEXO 8). Já no ponto 6, localizado

aproximadamente a 300 m do ponto anterior, a discrepância constatada está relacionada provavelmente, ao fato de que neste ponto inexiste o dado geofísico, cujo valor foi estimado para posterior correlação com o ensaio esclerométrico. Isto pode ter provocado distorção na correlação dos parâmetros e, consequentemente induzindo a dúbia interpretação. Excetuando estes pontos, os demais apresentam um certo grau de correlação, supostamente esperado.

- O Gráfico 2 (Velocidade Sísmica versus Índice Esclerométrico das Rochas do Grupo Itararé – Perfil 1), apresenta uma discrepância quanto ao Índice Esclerométrico no ponto 3, por se tratar de um ponto situado junto à transição adotada das velocidades determinadas pela geofísica. Já nos pontos 7, 8 e 9 deve-se ressaltar que as rochas estavam alteradas, fator essencial para uma boa avaliação da correlação. No intervalo entre a execução dos cortes e a realização do presente trabalho, certas rochas, como essas dos últimos pontos do Perfil 1, por apresentarem maior facilidade de alteração intempérica, contrastaram negativamente na correlação dos parâmetros.

- O Gráfico 3 (Velocidade Sísmica versus Índice Esclerométrico das Rochas do Grupo Guatá, Formação Tatuí – Perfil 2) também apresenta uma certa discrepancia na correlação, quando o ensaio é realizado estrato heterogêneo com em diferentes unidades litológicas estrato heterogêneo com, a exemplo no ponto 11. Neste, primeiramente levantou-se o Índice Esclerométrico em arenito fino calcífero (ponto 11A) e em seguida no siltito cinza escuro logo na camada logo abaixo, caracterizando considerável diferença de Dureza Schmidt nestes. Ao observarmos os outros pontos do perfil, realizado em siltitos, a discrepancia dos valores diminui, constatando que, o arenito calcífero é mais resistente a escavação, embora na geofísica de refração, este maciço rochoso tenha sido classificado em uma mesma Categoria.

Com base nos gráficos de Dispersão – Regressão Linear elaborados (gráfico 4, 5 e 6; ANEXO 6), constata-se que:

- O Gráfico 4 (Dispersão de Velocidade Sísmica versus SPT das Rochas do Grupo Itararé, Perfil 1) define, através do Método dos Mínimos Quadrados, o Índice de Correlação procurado, ou seja, o Coeficiente de Explicação (R^2) para a relação destes parâmetros. O valor obtido foi de 0,895 ou, em percentagem, de 89,5 %, o que corresponde a um bom nível de correlação para os parâmetros envolvidos. O Gráfico 5 (Dispersão de Velocidade Sísmica versus Índice Esclerométrico das Rochas do Grupo Itararé, Perfil 1), define o Índice de Correlação ou Coeficiente de Explicação (R^2) que atingiu o valor de 0,677 ou de 67,7% de favorecimento na aplicação proposta. O nível de correlação obtido, mediante a aplicação destes parâmetros, equivale a um valor de conceituação considerado regular, na correlação, embora possamos considerar que o valor de R^2 encontrado representa uma razoável e

aceitável correlação. Como citado anteriormente, os pontos 3 e 7 foram novamente causadores destas distorções.

- O Gráfico 6 (Dispersão de Velocidade Sísmica versus Índice Esclerométrico das Rochas do Grupo Guatá, Formação Tatuí, Perfil 2), define um índice de correlação semelhante ao do Perfil 1 (Gráfico 5), cujo valor é de 0,670 ou 67% de favorecimento na aplicação proposta é considerada aceitável na correlação.

Outro aspecto relevante na interpretação dos dados foi a constatação da probabilidade de escarificação das rochas do Perfil 1, pertencentes ao Grupo Itararé, através da plotagem dos valores de Velocidade Sísmica, na tabela Caterpillar (ANEXO 1). Todas as rochas são passíveis de escarificação quando o escarificador a ser utilizado é do tipo D10. Quanto às rochas do Grupo Guatá, Formação Tatuí, a plotagem dos pontos na mesma tabela sinalizou a possibilidade de escarificação na maior parte dos pontos. Porém nos pontos 12 e 14, constituídos por siltitos, esses valores apontaram para a faixa indeterminada de escarificação (ANEXO 1). Este fato foi observado em campo e registrado aqui (ANEXO 2), por se tratar de um ponto polêmico nesse tipo de estudo uma vez que a falta de tais informações levam as empreiteiras a optarem pelo uso de explosivos nessas porções, não sendo necessariamente o único modo de escavação. Como alternativa poderia ser usada a escarificação tipo 2^aB, onde os explosivos atuam somente na desagregação inicial do material que posteriormente torna-se bom para a escarificação.

7. Conclusões

Na tentativa de se prever a escarificabilidade de rochas sedimentares (siltitos e arenitos) foi aplicado a este estudo, um novo parâmetro, que se trata da Esclerometria Schmidt ou Dureza Schmidt dos materiais. O esclerômetro de Schmidt é uma ferramenta extra que foi adotada e que juntamente com outros parâmetros, torna-se uma opção a mais na intenção de aferir a possibilidade de escavação com escarificadores, em rochas brandas.

Alguns fatores ligados à natureza do material a ser escavado, como o Grau de Alteração da Rocha e o Padrão de Fraturamento são muito importantes. Estes expõem as características mineralógicas e estruturais, fatores a serem considerados na escolha do escarificador certo para cada tipo de obra, tendo em vista que as rochas sedimentares aqui estudadas possuem tendência de desagregação quando exposta a intempéries.

Quanto aos resultados estatísticos encontrados por meio dos gráficos de Linhas e de Dispersão Linear, estes indicaram um Índice de Correlação ou Coeficiente de Explicação (R^2) muito bom quando relaciona-se a Velocidade Sísmica X SPT, com valor de 0,895.

Quanto ao resultado do R^2 para a relação Velocidade Sísmica X IE, este indicou um índice classificado como regular, sendo o valor encontrado para o Perfil 1 de 0,677 e para o Perfil 2 é de 0,670.

Estes valores devem ser mais detalhados já que para uma avaliação mais complexa é necessário um número maior de índices esclerométricos, mas somente com os aqui apresentados, pode-se afirmar que a correlação prevista e esperada ocorreu, mas não é melhor mais precisa que o SPT. Deve-se atentar também que o grau de alteração da rocha como o seu grau de fraturamento influencia demais nestes parâmetros, mascarando-os por vezes.

Assim o uso do esclerômetro de Schmidt na obtenção de valores de Resistência a Compressão é aconselhável, devendo, até que se tenha maiores estudos, ser utilizado juntamente com outros métodos de prospecção. Pode-se dizer também que na previsão de escarificabilidade de rochas sedimentares, mostrou ser compatível com tal levantamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBG17/80 (1982) Identificação e Descrição de Amostras de Solos Obtidas em Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos. Abril, Brasil.

BAILLOT, R.T.; Júnior, A. R.(1999). Solos e Rochas. In:Revista Latino Americana de Geotecnica, Vol.22, Nº 3, Dezembro. Publicação da Associação Brasileira de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS) e Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental (ABGE),São Paulo. Brasil. p.167 - 178.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; PINTO, I.D. (1967). Problemas in Brazilian Gondwana Geology. Brazilian contribution to the Internacional Symposium on the Gondowana Stratigraphy and Paleontology. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, p.27-95.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (1979). Projeto Sapucaí MG/SP. Relatório Final de Geologia Série Geologia N° 4, Seção Geologia Básica N° 2. Brasília.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (1979). Projeto Sapucaí. Mapa geológico: Folha Campinas / SF. 23 – Y – A, Escala 1: 250.000.

BROWN, E.T. (1981). Rock Characterization Testing & Monitoring. ISRM Suggested Methods. Commission on Testing Methods International Society for Rock Mechanics. Pergamon Press, London, England, p.100 -103.

BURITY, F.D. (1962). Classificação dos Materiais de Escavação. Revista Construção. Vol. VI, Nº 67, p.24.

CAMPOS, J.O. (1998) Primeiro Relato de Estudos Geotécnicos de Rochas Sedimentares. Artigo Técnico 15.Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE).São Paulo, Brasil.

CHURCH, H, K. (1981). Exploration of Excavation. In: Excavation Handbook. McGraw-Hill Book Company, cap.7, p.26-37 e cap. 11, p.02-23.

GALAGLIA, G.P.R. & MILANI, E. J. (1990). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Petrobrás, Brasil. p.135-168.

DÉCOURT, L. The Standard Penetration Test. State of the Art Report. Proc.XII ICSM FE, vol. 4, Rio de Janeiro:2405 - 2416.

DE MELLO, B. F. B. (1971) The Standard Penetration Test. State of the Art. IV ICSMFE, porto Rico:1 - 86.

GUIDICINI, G. (1973). Análise do Método de Esclerometria de Impacto (Esclerômetro Tipo Schmidt) na Caracterização Geotécnica de Maciços Rochosos. In: Seminário Condicionamentos Geológicos em Obras de Engenharia Civil. Departamento de Estruturas e Fundações. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. Brasil.

HACHICH, W.; FALCONI, F.F. ; SAEZ, J.L. ; FROTA, R.G.Q. ; CARVALHO, C.S. & NIYAMA, S. (1996). Investigações Geotécnicas. In: Fundações Teoria e Prática. Editora Pini, ABMS/ABEF, 2^a Ed, p.119-121.

HENDRON, A. J. , 1968 Mechanical Properties of Rocks. In Stagg, K. G and Zienkiewicz, O. C. 1968, Rock Mechanics in Engineering Practice. J. Wiley & Sons, New York.: 21 - 53.

HOEK, E. (1998). Rock Tunnelling Case Histories and the Application of Modern Rock Engineering Techniques. Short Course. April, 22 to 24,. São Paulo, Brasil. , p. 67.

MARTINS, G.A. (2001). Estatística Geral e Aplicada. Editora Atlas. São Paulo. Brasil. p.308 – 319.

MEYER, V.L.O.; LESSA, G.(1978) A Utilização de Métodos Geofísicos para a Determinação do Grau de Escarificação de Maciços Rochosos. In: Anais 2º CBGE, Vol. 2 .São Paulo, Brasil. Nov. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), p. 31 - 39.

RADAELLI, L.L. & CERELLO, L. (1998). Escavações. In: Geologia de Engenharia. Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N.A. editores. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, Brasil , p. 311-330.

RIBEIRO, T. (1999). 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. Monografia de Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo. Brasil.

RICARDO, H. S. & CATALANI, G. (1978). Terraplenagem e Escavação de Rocha. In: Manual Prático de Escavação de Rocha. Editora McGraw Hill do Brasil Ltda, p. 1 a11 e 461 a 463

SMITH, H.J. (1986). Estimating Rippability by Rock Mass Classification. In: Symposium on Rock Mechanics, Tusca Loosa, New York, EUA, cap.64, p. 443-448.

SOUZA, L.A.P.; SILVA, R. F. (1998). Métodos de investigação. In: Geologia de Engenharia. Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N.A. Editores. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo. Brasil. p. 163 - 196.

STAGG, K.G. ; ZIENKIEWICZ (1970). Mecanica de Rocas en la Ingenieria Practica. Editorial Blume, Madrid, Espanha, p.46-49.

TAMMERIK, G.R. (1994). Escarificabilidade de Rochas Brandas. Tese de Mestrado. Departamento de Engenharia de Minas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. Brasil.

TAMMERIK, G.R.; SOARES, L.. ; DAMASCENO, E.C. (1994). Sistemas de Classificação de Maciços quanto à Escarificação. In:Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas, Anais., Vol.1, ABMS. Foz do Iguaçu. Brasil p. 86-92

ANEXO 1 – Tabelas Caterpillar

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

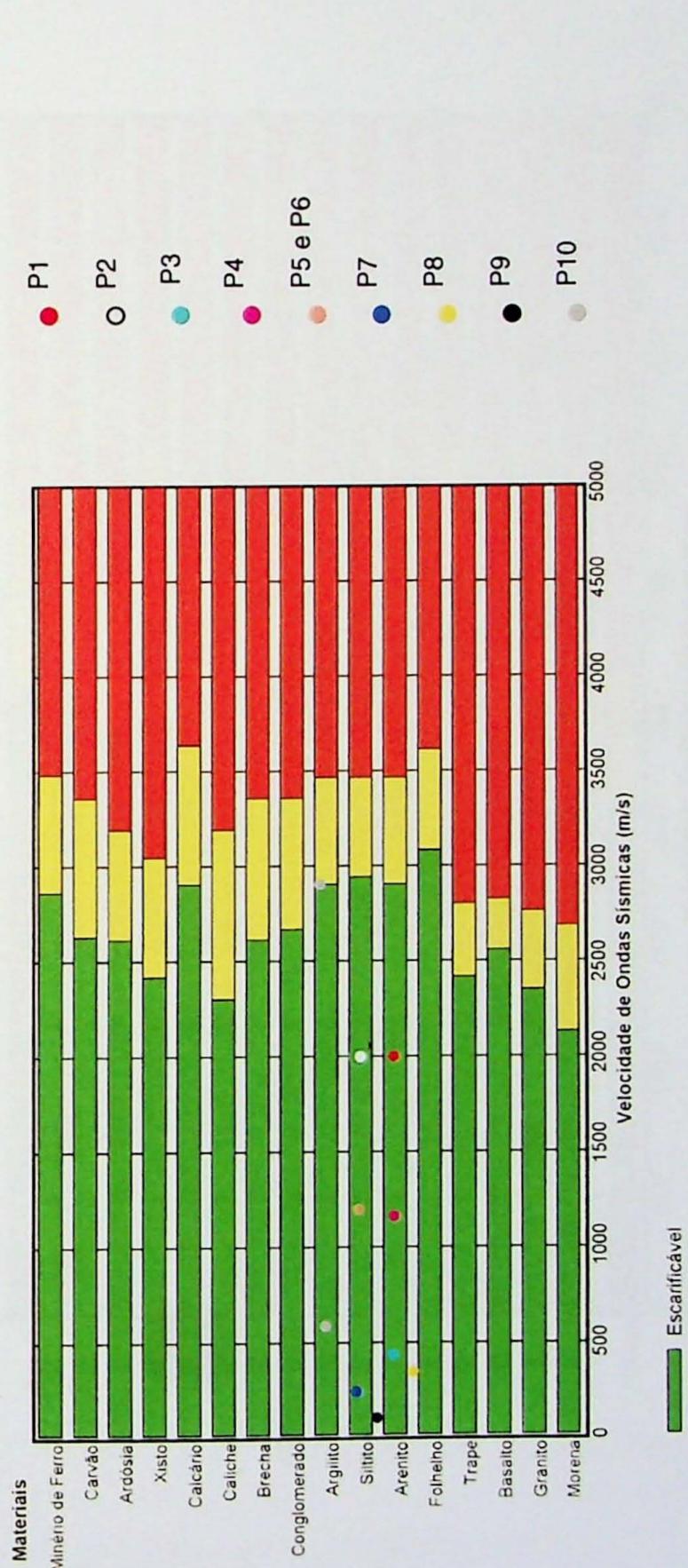


Figura 1 – (Extralda e modificada de Ribeiro, 1999) Tabela Caterpillar para escarificador D10 mostrando os valores encontrados nos pontos amostrados.

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

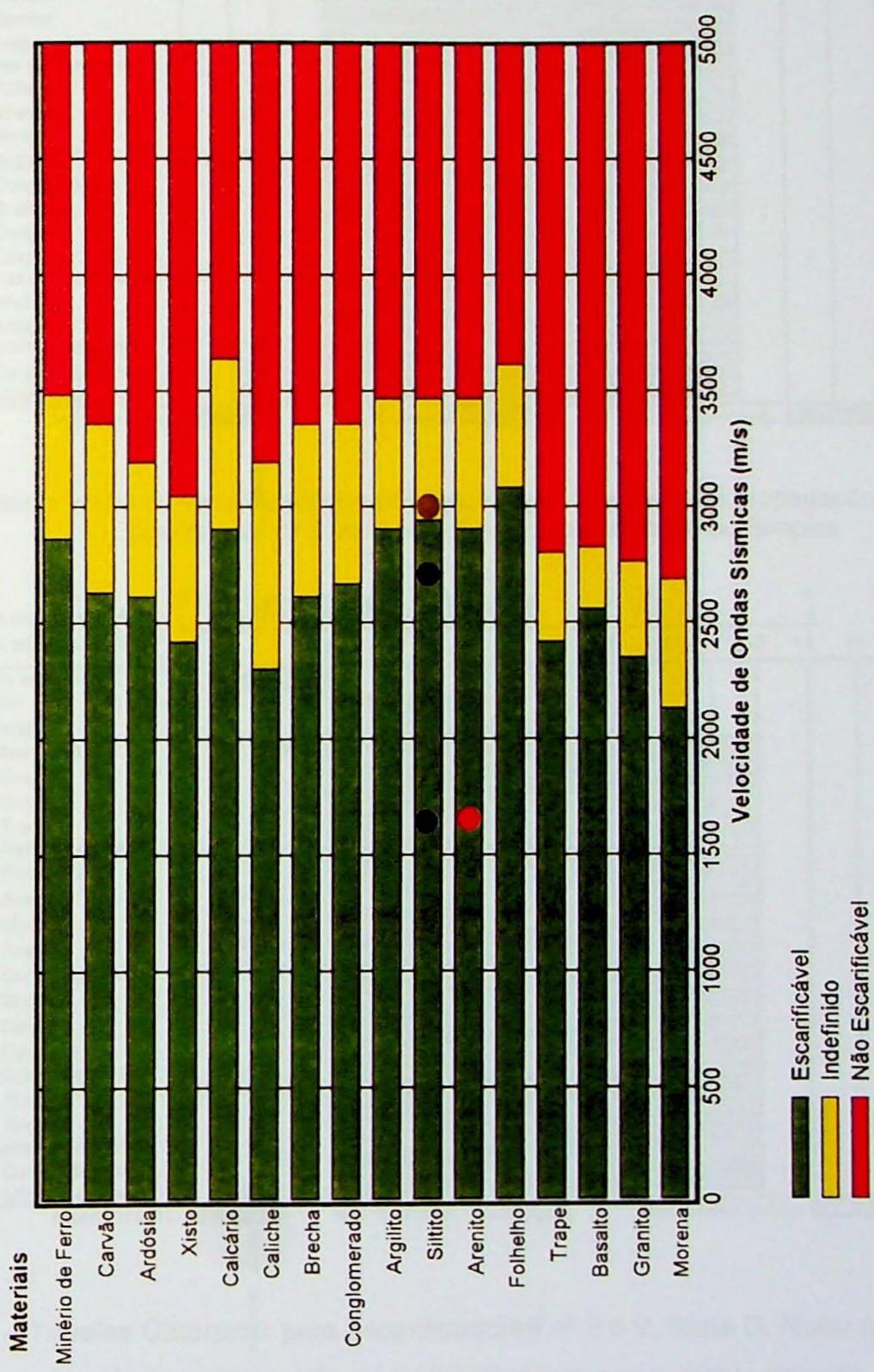
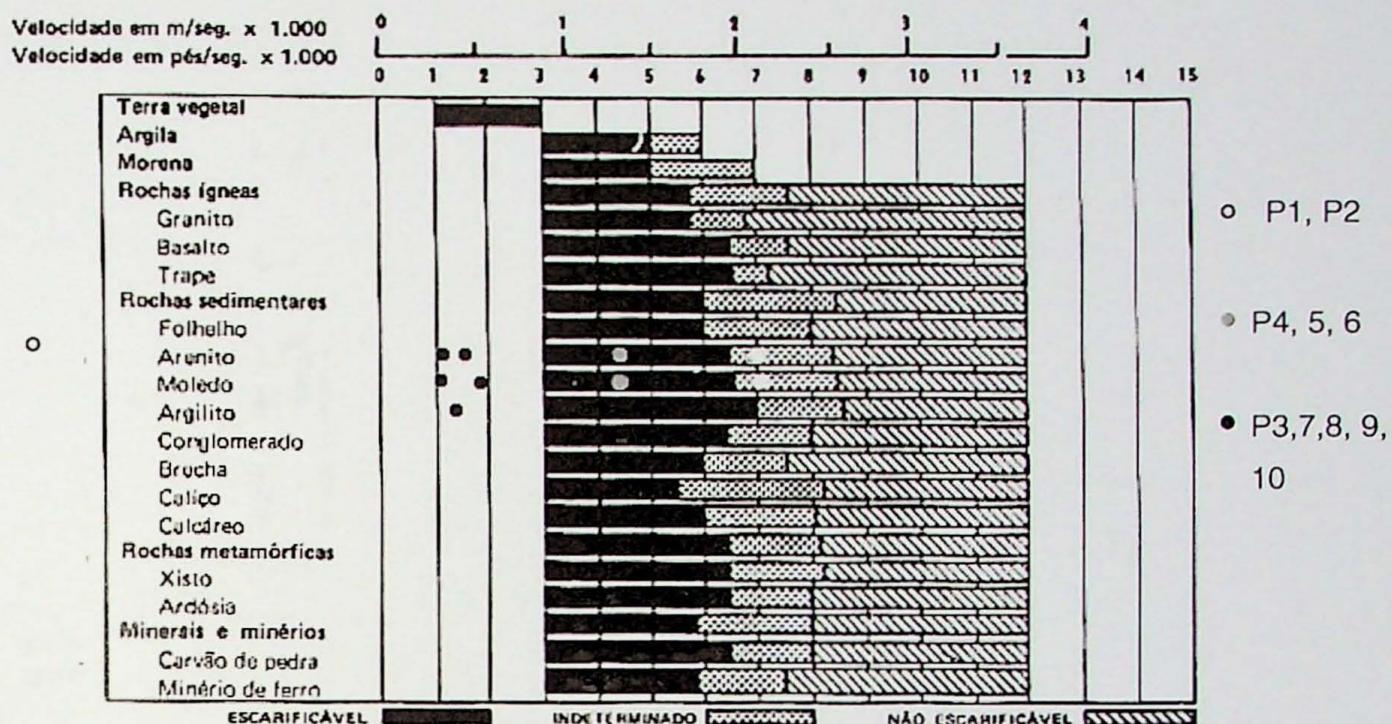


Figura 1b – (Extraída e modificada de Ribeiro, 1999) tabela Caterpillar para escarificador D10 mostrando os valores encontrados nos pontos amostrados no Perfil 2.

Desempenho do escarificador do D8K segundo a velocidade de propagação sísmica
Escarificador nº 9 Série com Porta-pontas Múltiplo ou Simples



Desempenho do escarificador do D9H segundo a velocidade de propagação sísmica
Escarificador nº 8 Série com Porta-pontas Múltiplo ou Simples

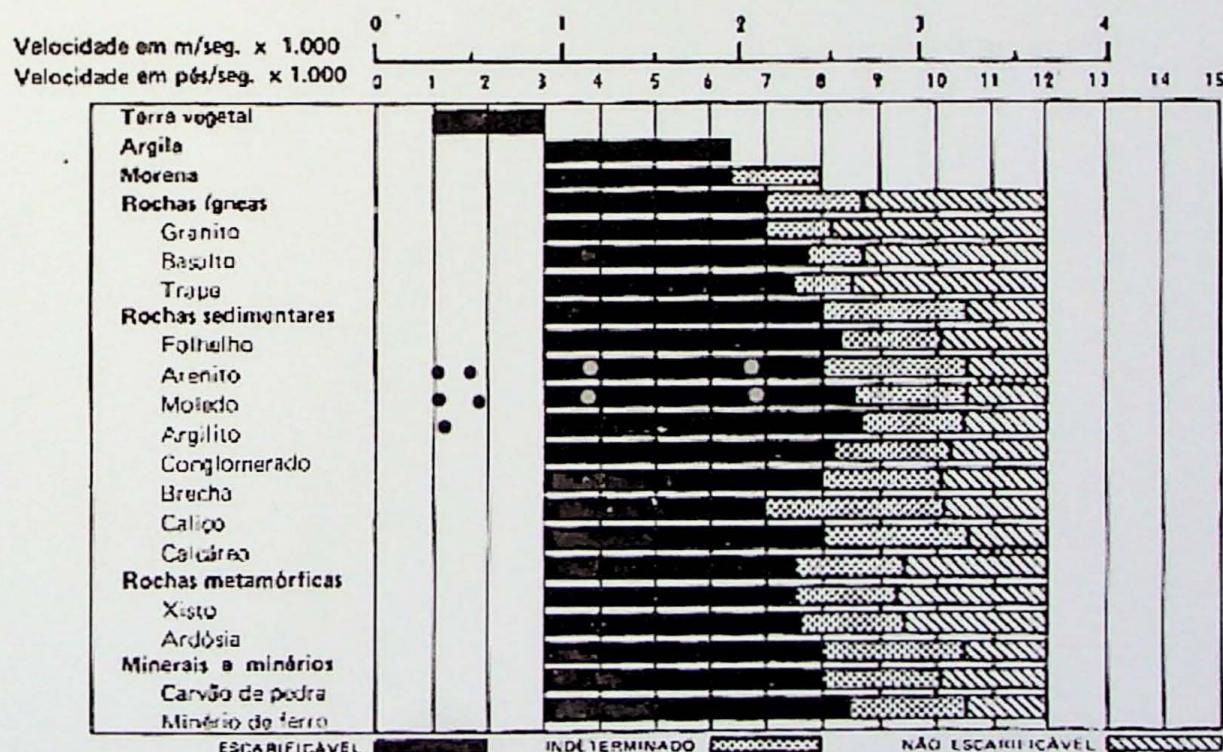
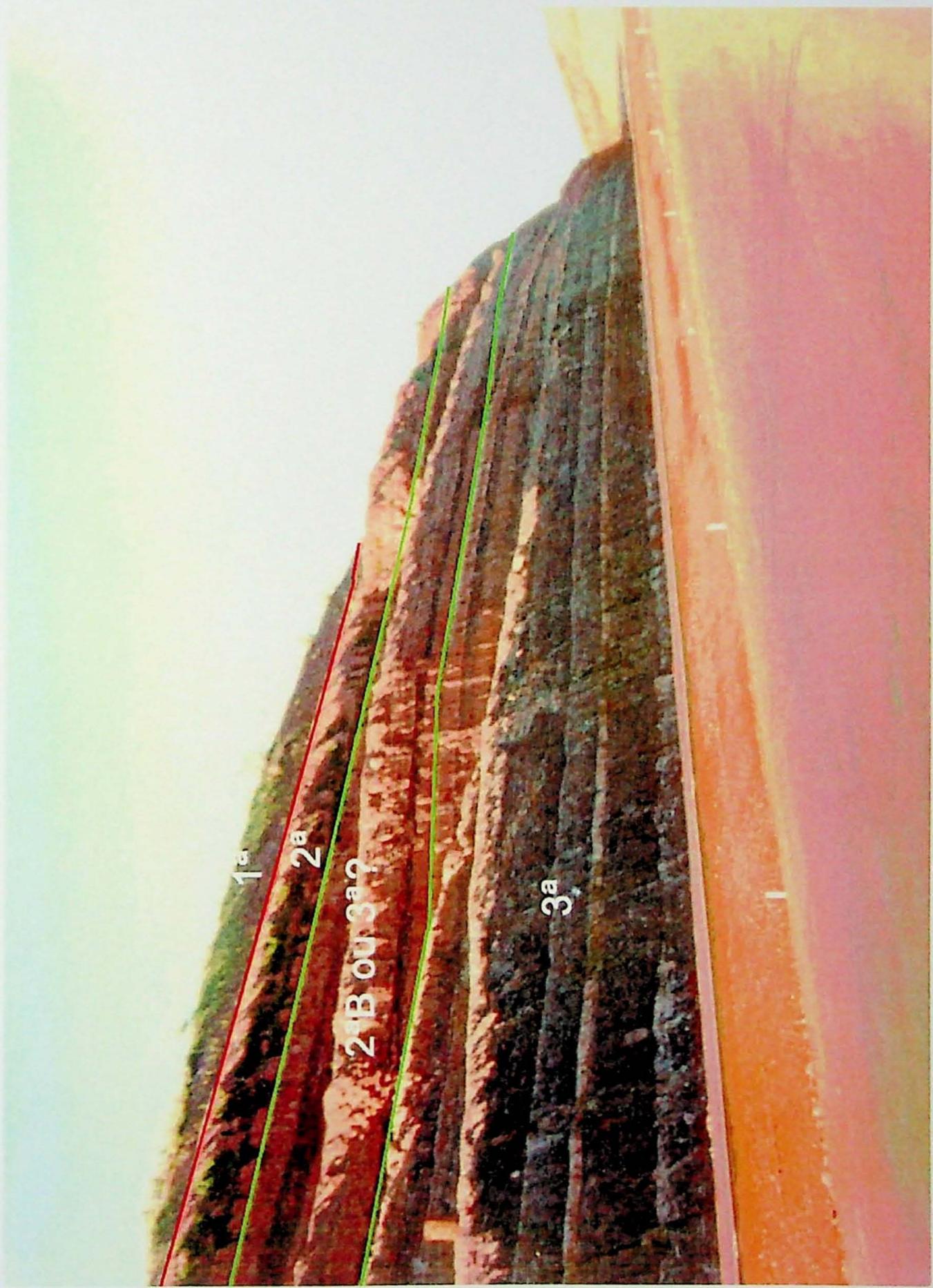


Figura 2 – Tabelas Caterpillar para escarificadores nº 8 e 9, Série D. Notar que os pontos 1 e 2 na tabela relacionada ao nº8 são classificados como indeterminado (de transição). Enquanto na tabela de escarificadores nº9 são escarificáveis.

ANEXO 2 – Vista do perfil 2, Formação Tatuí



ANEXO 2 – Vista do corte em rochas da Formação Tatuí, Perfil 2.

ANEXO 3 – Fotos

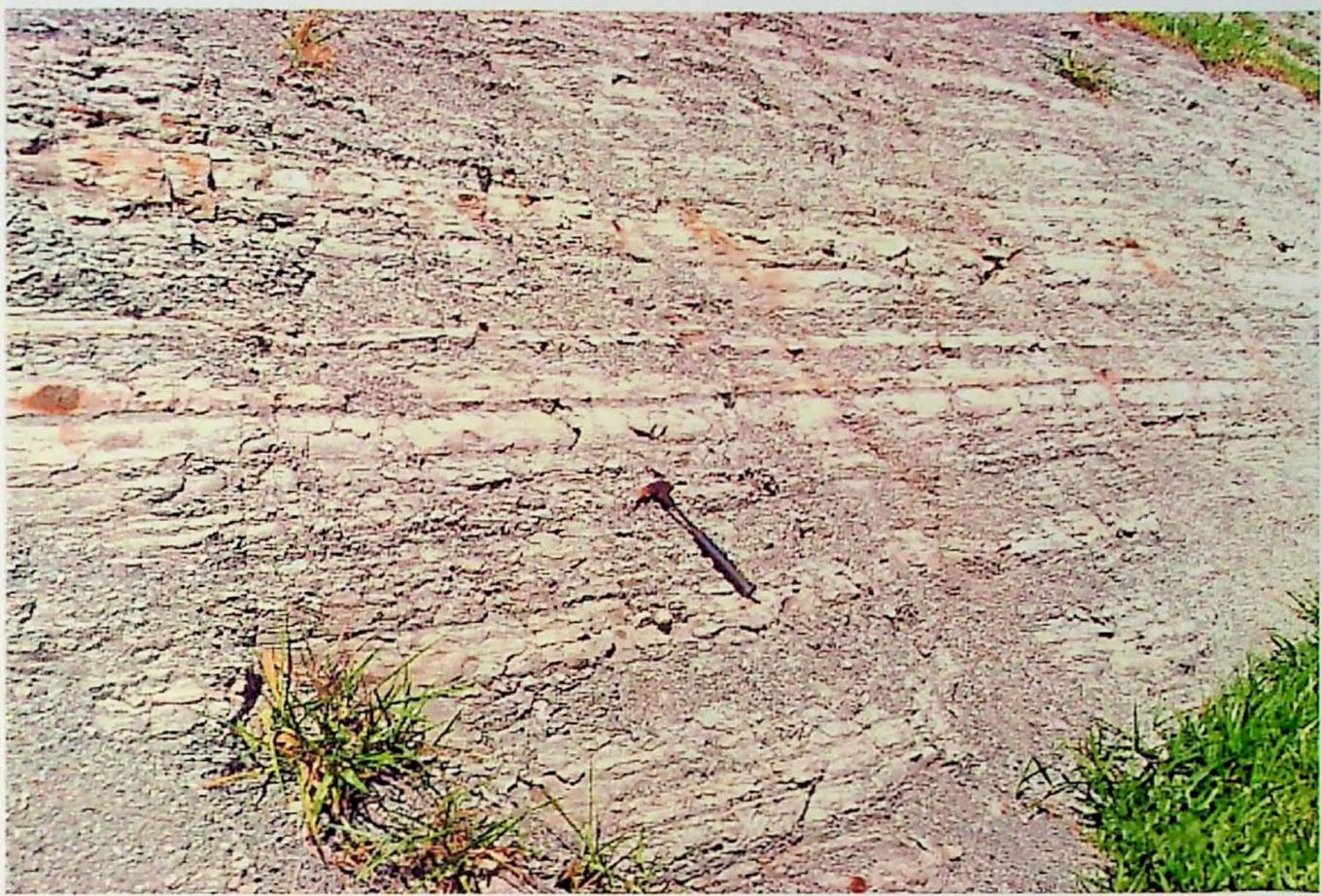


FOTO 1 – Siltitos negro a cinza intercalado com arenitos finos siltosos amarelados, Grupo Itararé.



FOTO 2 - Arenitos cinzas e amarelo-claro com seixos esparsos, Grupo Itararé.



FOTO 3 – Diamictito do Grupo Itararé.



FOTO 4 – Siltitos roxos (base), cinzas e amarelados bandados da Formação Tatuí. Típica rocha branda.



FOTO 5 – Siltito roxo e cinza na porção inferior, arenito fino calcífero (camadas claras) e folhelho negro na porção superior (camadas escuras).

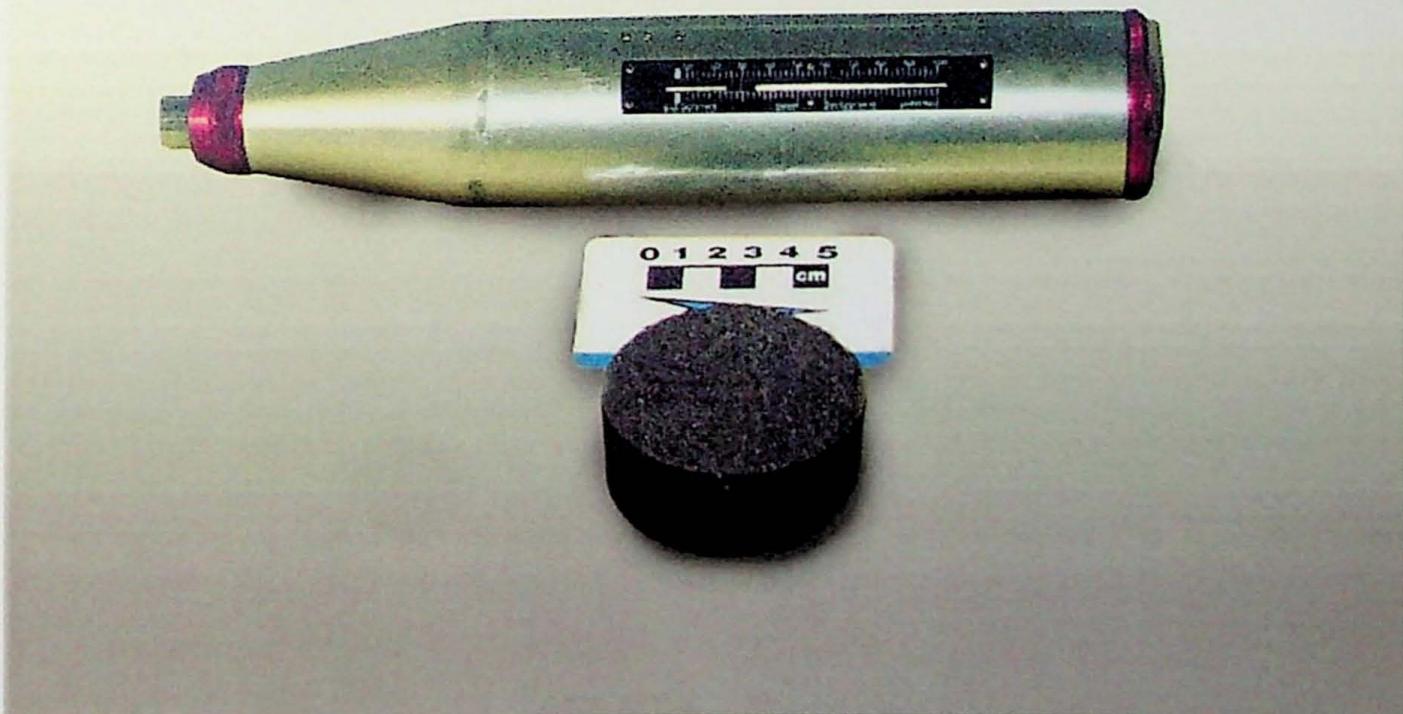
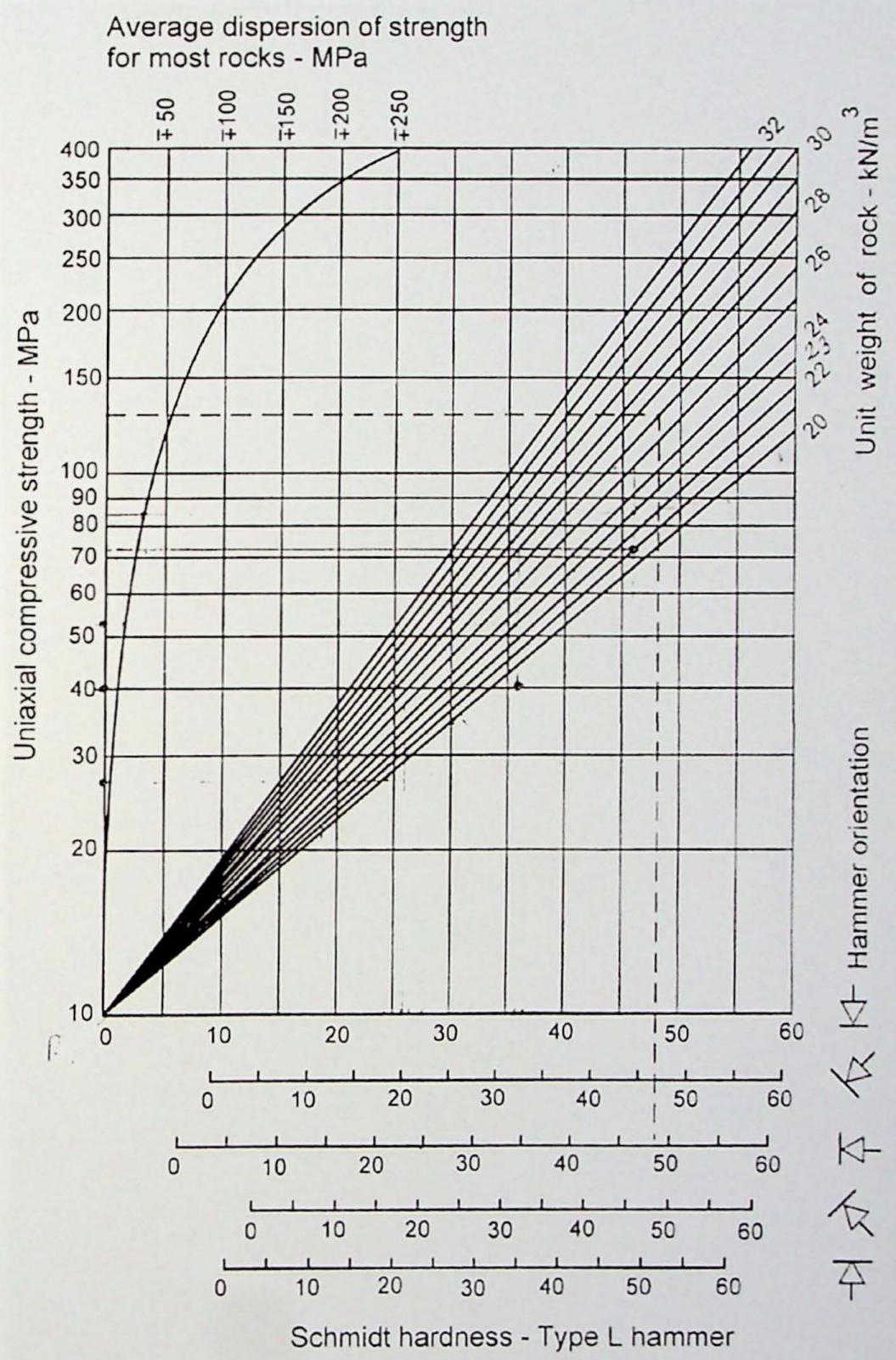


FOTO 6 – Esclerômetro de Schmidt tipo L.

**ANEXO 4 – Ábaco com correção de inclinação
do esclerômetro de Schmidt**



ANEXO 4 (Extraído de Hoek, 1998) – Ábaco com possibilidade de correção de ensaios esclerométricos realizados com o percussor do aparelho inclinado.

ANEXO 5 – Tabela de pontos

Ponto	Litologia	Cota	Leitura (IE)							Média (IE)	Fator de Correção	Dureza Schmldt	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
PERFIL 1													
1	Arenito fino siltoso	621	29	32	32	27	32	33	35	34	36	34,0	0,9
2	Siltito cinza	627	21	24	23	22	26	22	24	22	27	24	24,8
3	Arenito fino	590	16	22	22	24	24	25	26	26	26	25,8	0,9
4-A	Arenito fino amarelo	620	18	18	20	20	22	19	19	19	20	20,4	0,9
4-B	Arenito fino amarelo	620	32	34	30	34	36	28	30	36	32	30	34,4
5	Siltito arenoso marrom	628	32	33	34	36	37	35	39	38	40	38,4	0,9
6	Siltito arenoso marrom	630	25	31	32	32	33	33	33	32	31	33	32,4
7	Siltito arenoso variegado	642	15	14	16	16	20	19	22	23	22	23	22,0
8	Arenito fino siltoso	630	11	12	14	16	16	16	16	15	15	16	16,0
9	Siltito arenoso variegado	625	11	17	18	20	22	23	22	23	23	22,8	0,9
10	Argila siltosa amarela	614	15	18	17	17	18	18	15	18	18	18,0	0,9
PERFIL 2													
11-A	Arenito fino calcífero branco	637	41	40	47	38	40	42	42	43	41	43,2	0,9
11-B	Siltito cinza escuro	636	33	32	37	33	40	32	34	36	38	42	39,0
12	Siltito roxo	639	47	36	37	43	40	44	44	40	38	46	44,8
13	Siltito roxo	648	42	40	44	38	43	44	46	47	46	48	46,2
14	Siltito roxo	656	42	48	49	50	50	48	50	49	48	49	49,6

Obs.:

IE = Índice Esclerométrico (usado os 5 valores mais altos no cálculo da média de IE)

IE médio X Fator de Correção = IE corrigido = Dureza Schmidt

Fator de Correção = Índice de aferição do fabricante (manual do aparelho) / índice inicial de aferição na bigorna antes do ensaio de campo = $64 / 71 = 0,9$

O índice inicial de aferição foi a média dos 5 valores mais altos, de um total de 10, em bigorna específica fornecida pelo fabricante

Ponto	MPa	V (m/s)	SPT			RCS (Kg/cm ²)	Grau de Alteração
			1 ^a e 2 ^a	2 ^a e 3 ^a	SPT utilizado		
PERFIL 1							
1	40	1800	30/5	//	180	400 - BAIXA	A1
2	35	1000	64	39/15	78	350 - BAIXA	A1
3	34	360	10	13	13	340 - BAIXA	A2
4-A	27	1220	//	//	//	270 - M. BAIXA	A3
4-B	45	1220	//	//	//	450 - BAIXA	A1
5	46	1290	60	37/15	74	460 - BAIXA	A1
6	34	1220	56	34/15	68	340 - BAIXA	A2
7	25	400	17	20	20	250 - M. BAIXA	A3
8	24	380	9	11	11	240 - M. BAIXA	A3
9	28	400	17	23	23	280 - BAIXA	A2
10	23	550	15	18	18	230 - M. BAIXA	A2
PERFIL 2							
11-A	65	1650	//	//	//	650 - MÉDIA	A1
11-B	49	1650	//	//	//	490 - BAIXA	A1
12	57	3000	//	//	//	570 - MÉDIA	A1
13	59	2700	43/5	//	43/5	590 - MÉDIA	A1
14	70	3000	33/6	//	33/6	700 - MÉDIA	A1

MPa = Resistência a Compressão Uniaxial calculada com o ábaco em anexo

V (m/s) = Velocidade de Ondas Sísmicas

SPT utilizado = Valores da 2^a e 3^a

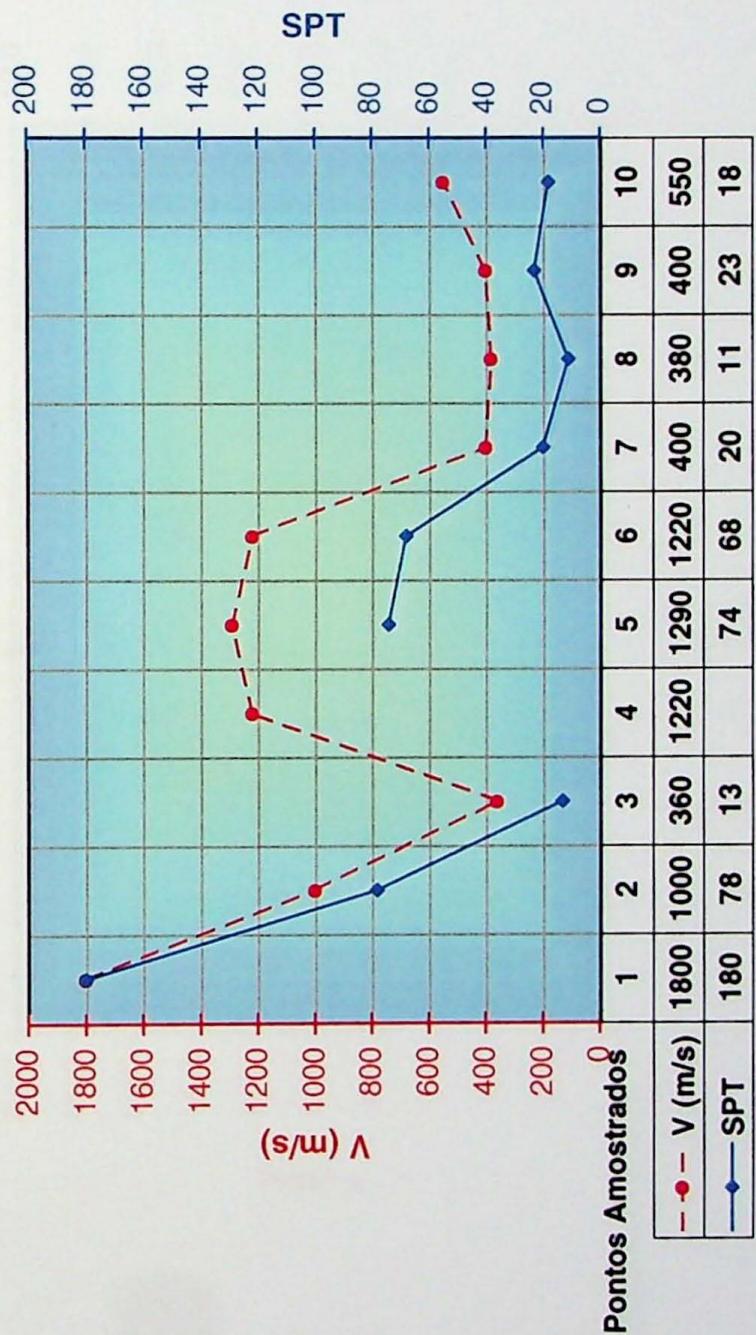
RCS (Kg/cm²) = Resistência à Compressão Simples

(ANEXO 5) - Continuação da tabela

ANEXO 6 – Gráficos

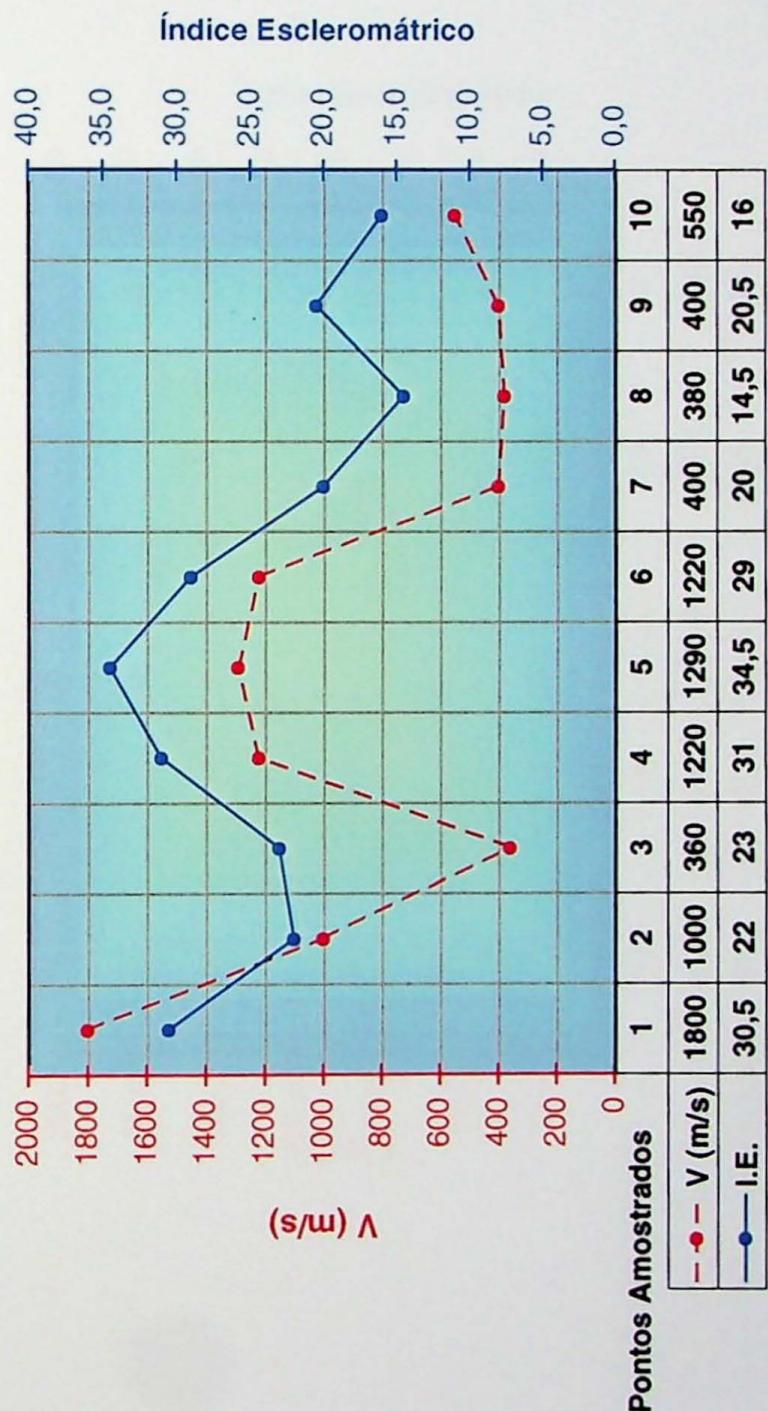
Velocidade Sísmica (m/s) X SPT
Perfil 1 - Grupo Itararé

Gráfico 1



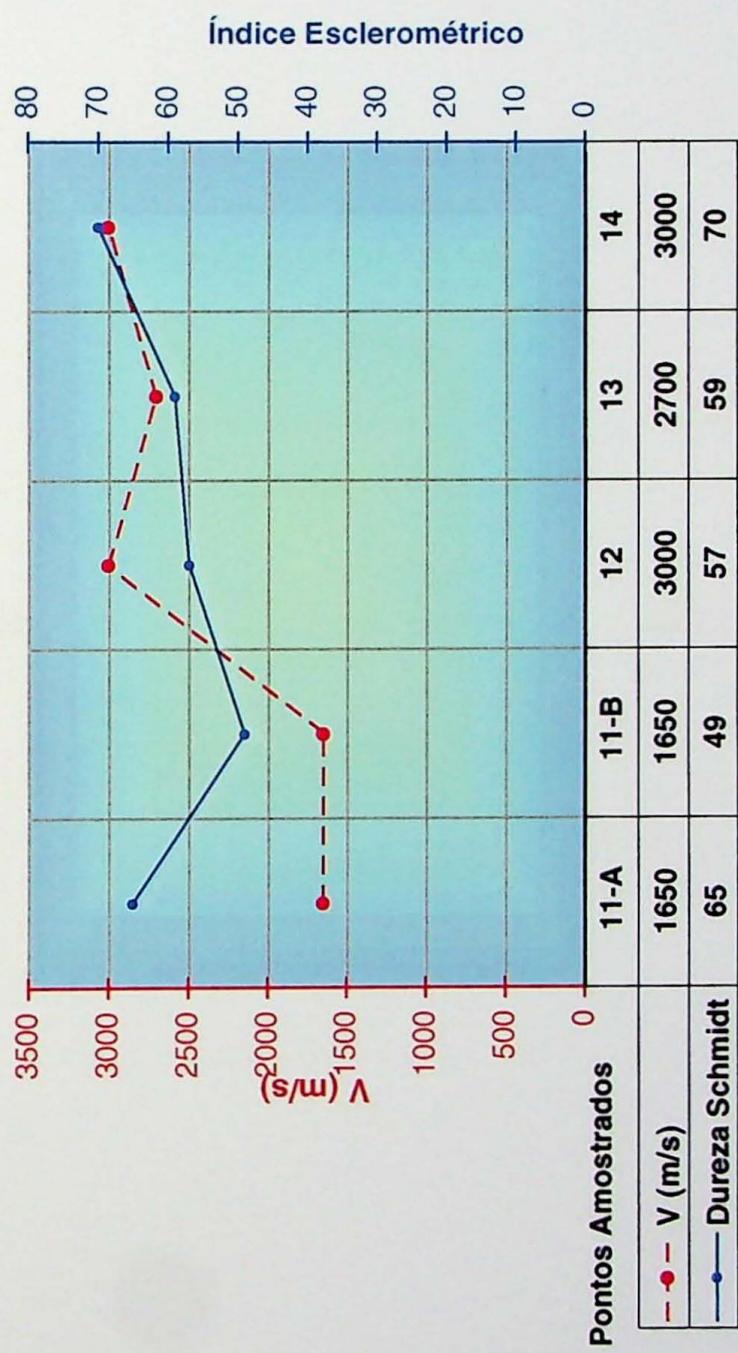
Velocidade Sísmica (m/s) X Índice Esclerométrico (IE)
Perfil 1 - Grupo Itararé

Gráfico 2



Velocidade Sísmica (m/s) X Índice Esclerométrico (IE)
Perfil 2 - Formação Tatuí

Gráfico 3



ANEXO 7 – Gráficos de Dispersão

Gráfico de Dispersão-Regração Linear V(m/s) x SPT
Perfil 1 - Grupo Itararé

Gráfico 4

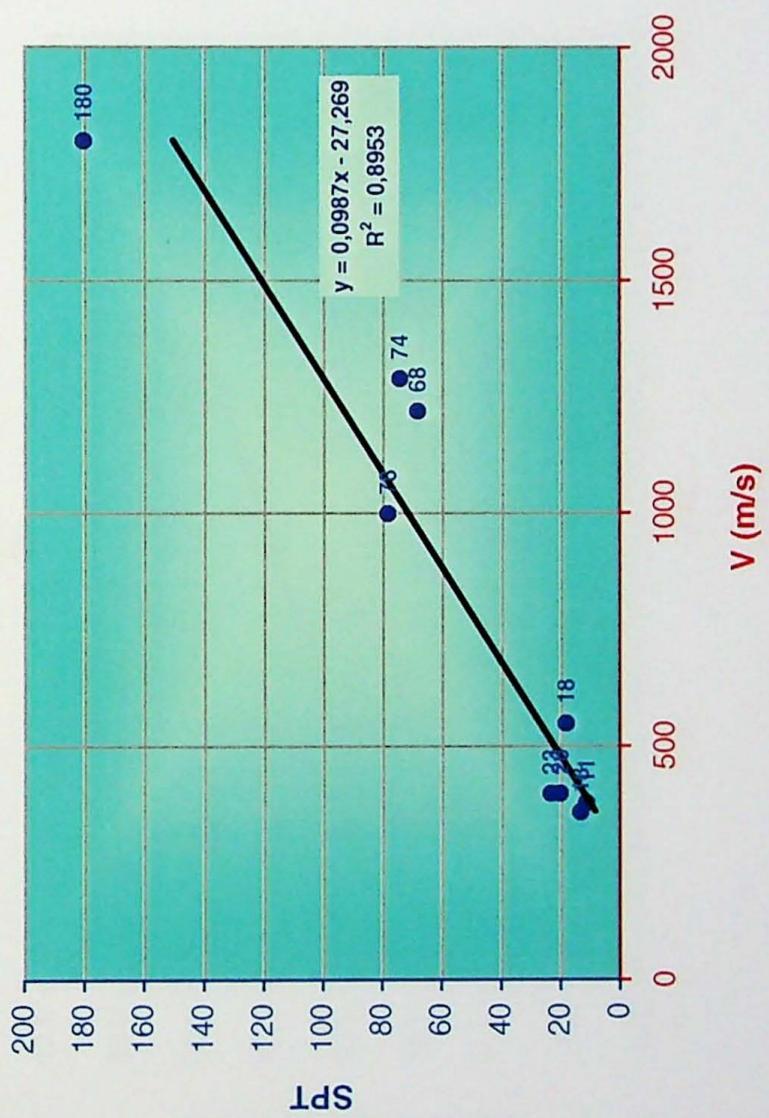


Gráfico de Dispersão-Regressão Linear V(m/s) x IE
Perfil 1 - Grupo Itararé

Gráfico 5

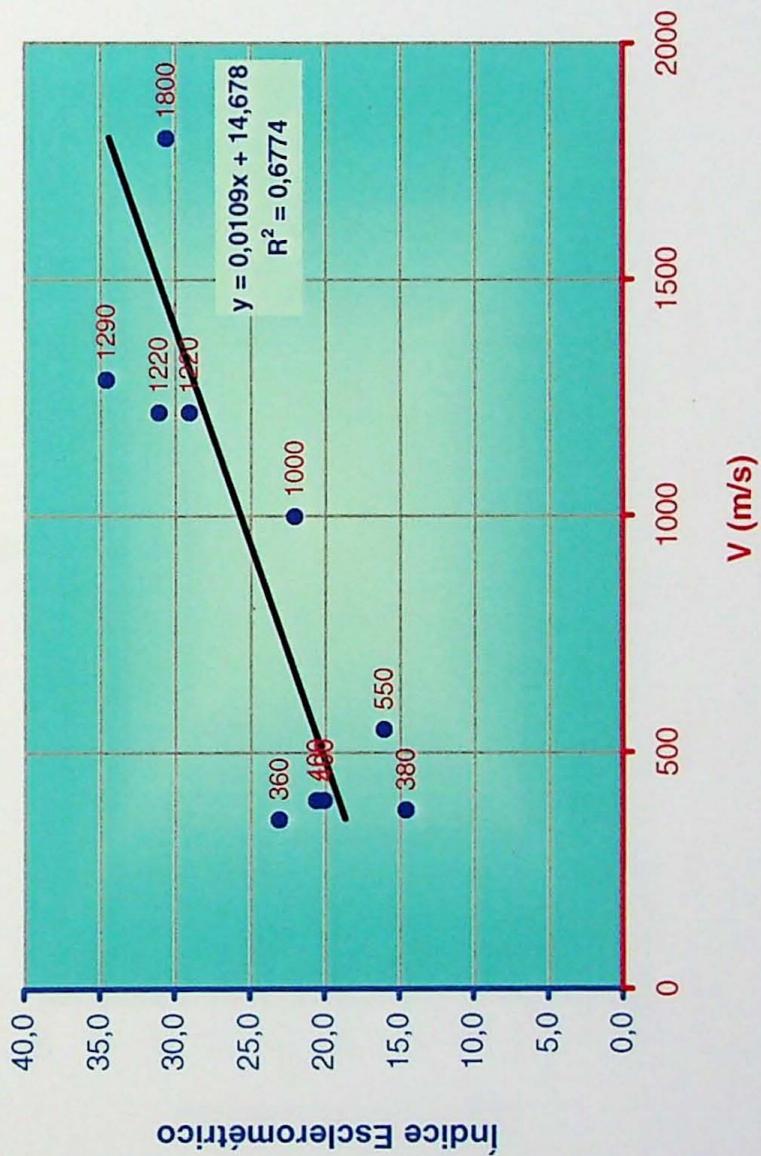
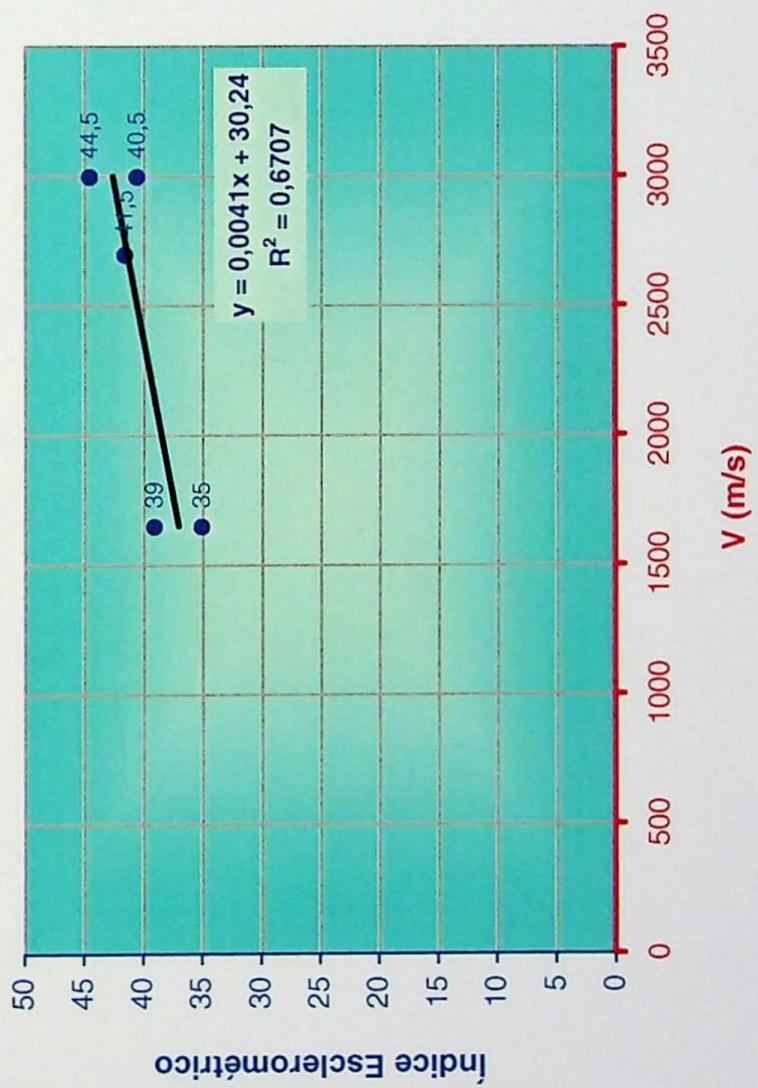


Gráfico de Dispersão-Regressão Linear V(m/s) x IE
Perfil 2 - Formação Tatuí

Gráfico 6



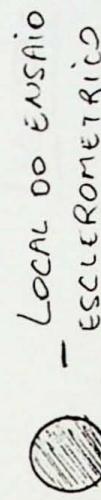
ANEXO 8 – Croquis

LEGENDA

SP - Sondagem Percussiva

V - Velocidade Sísmica

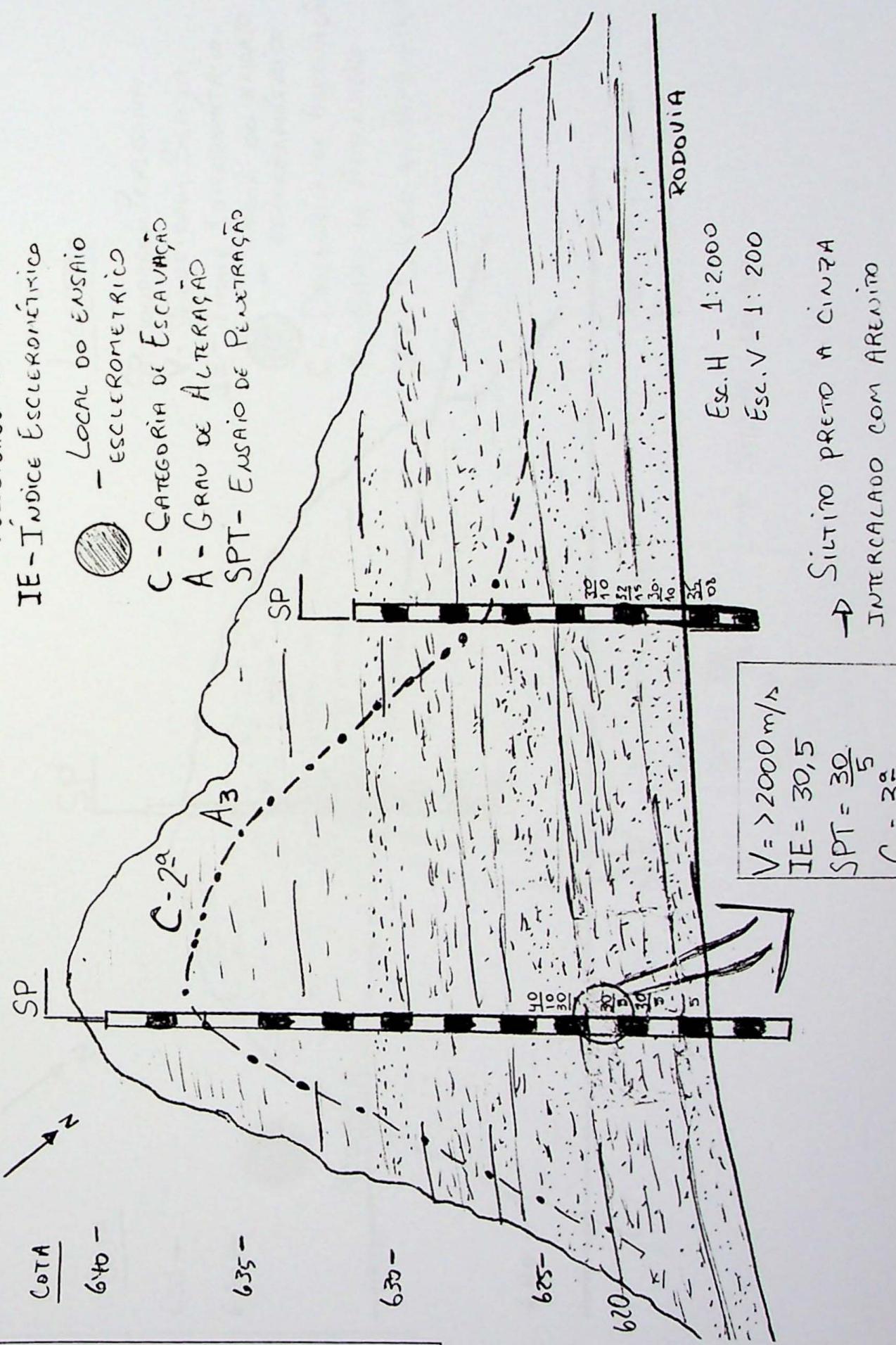
IE - Índice Escalonétrico



C - Categoria de Escavação

A - Grau de Alteração

SPT - Eusébio de Penetração

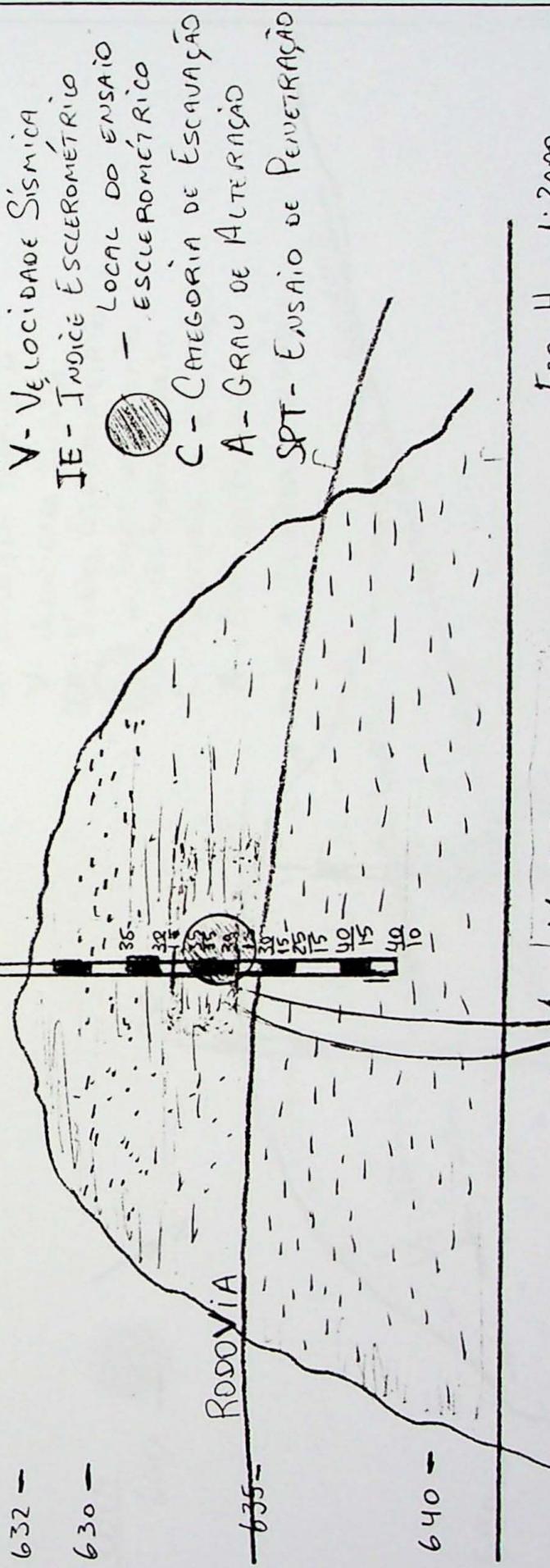


CONA



LEGENDA:

- SP - SONDAGEM PERCUSSIVA
- V - VELOCIDADE SÍSMICA
- IE - INDÍCIE ESCLEROMÉTRICO
- LOCAL DO ENSAIO
- ESCLEROMÉTRICO
- C - CATEGORIA DE ESCAVAÇÃO
- A - GRUO DE ALTERAÇÃO
- SPT - ENSAIO DE PENETRAÇÃO



$$\begin{aligned}V &= > 2900 \text{ m/s} \\IE &= 22 \\SPT &= \frac{39}{15} \\C &= 3^{\alpha} \\A &= A_1\end{aligned}$$

Esc. H - 1:2000
Esc. V - 1:200

→ SILTITO CINZA

Croqui 2- Ponto 2

Croqui 3- Ponto 3

LEGENDA:

SP - Sondagem Percussiva

V - Velocidade Sônica

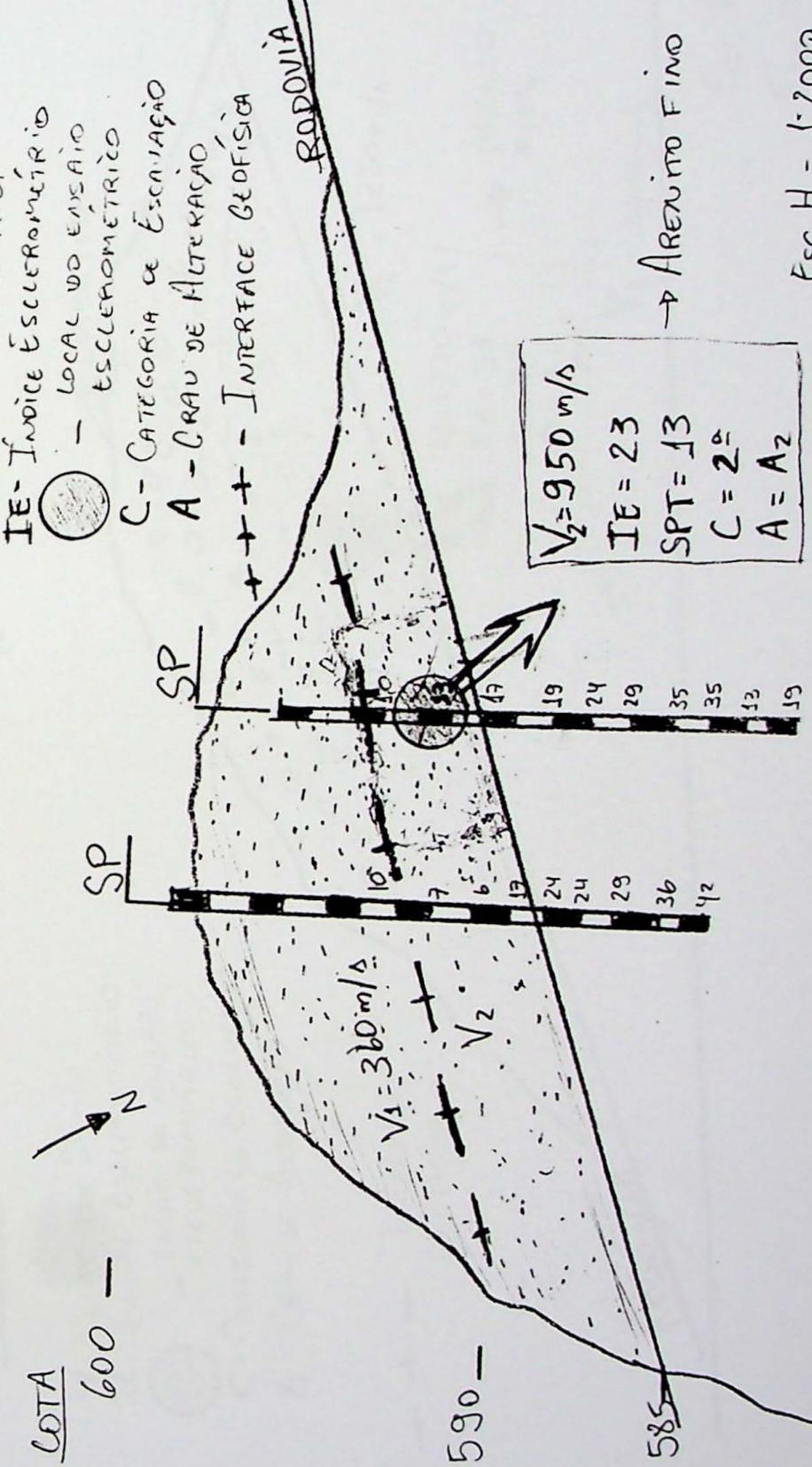
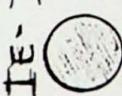
IE - Indice Esclerométrico

- Local do ensaio
esclerométrico

C - Categoria de Escavação

A - CRAU de Alteração

++ - Interface Geofísica



Esc. H - 1:2000

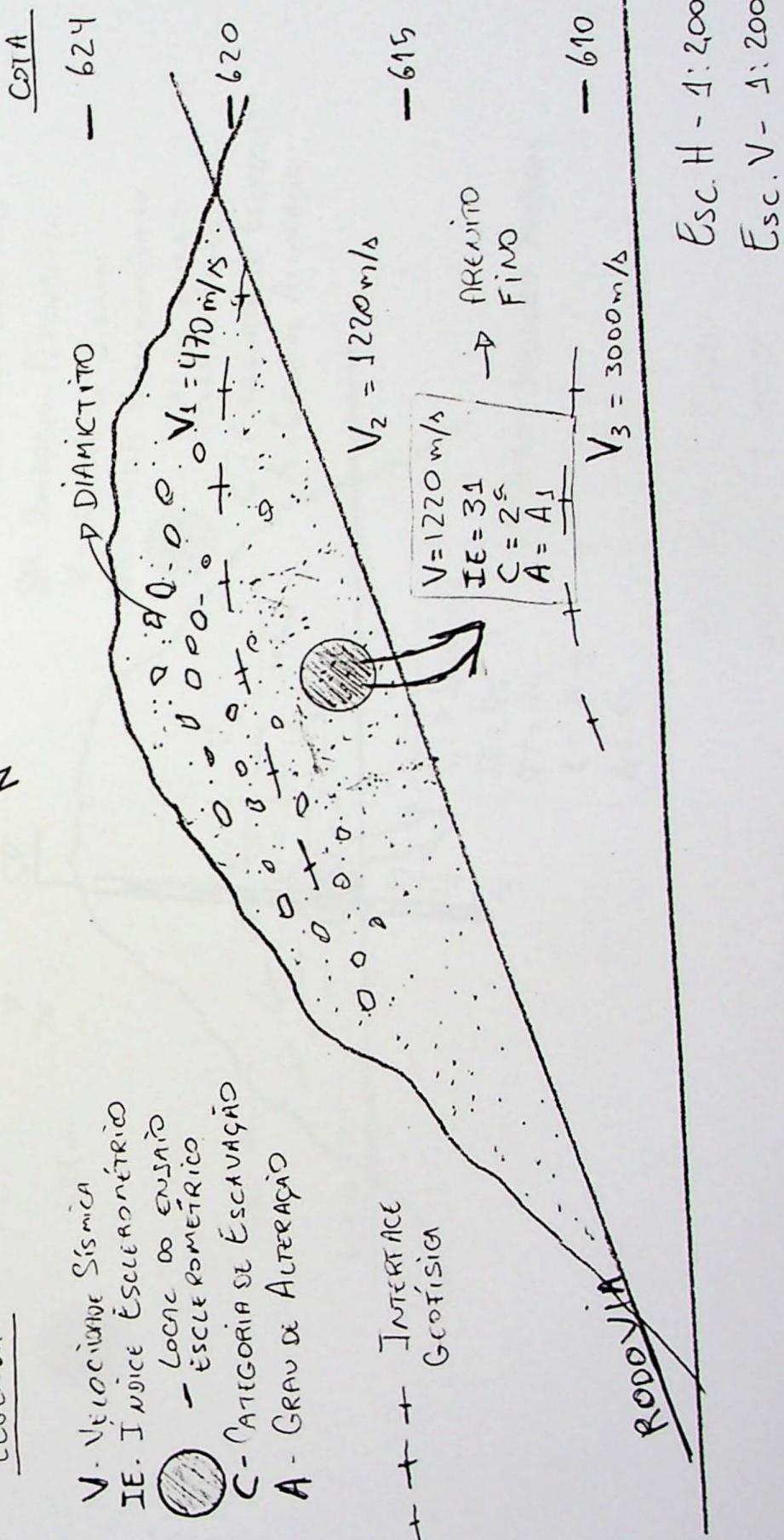
Esc. V - 1:200

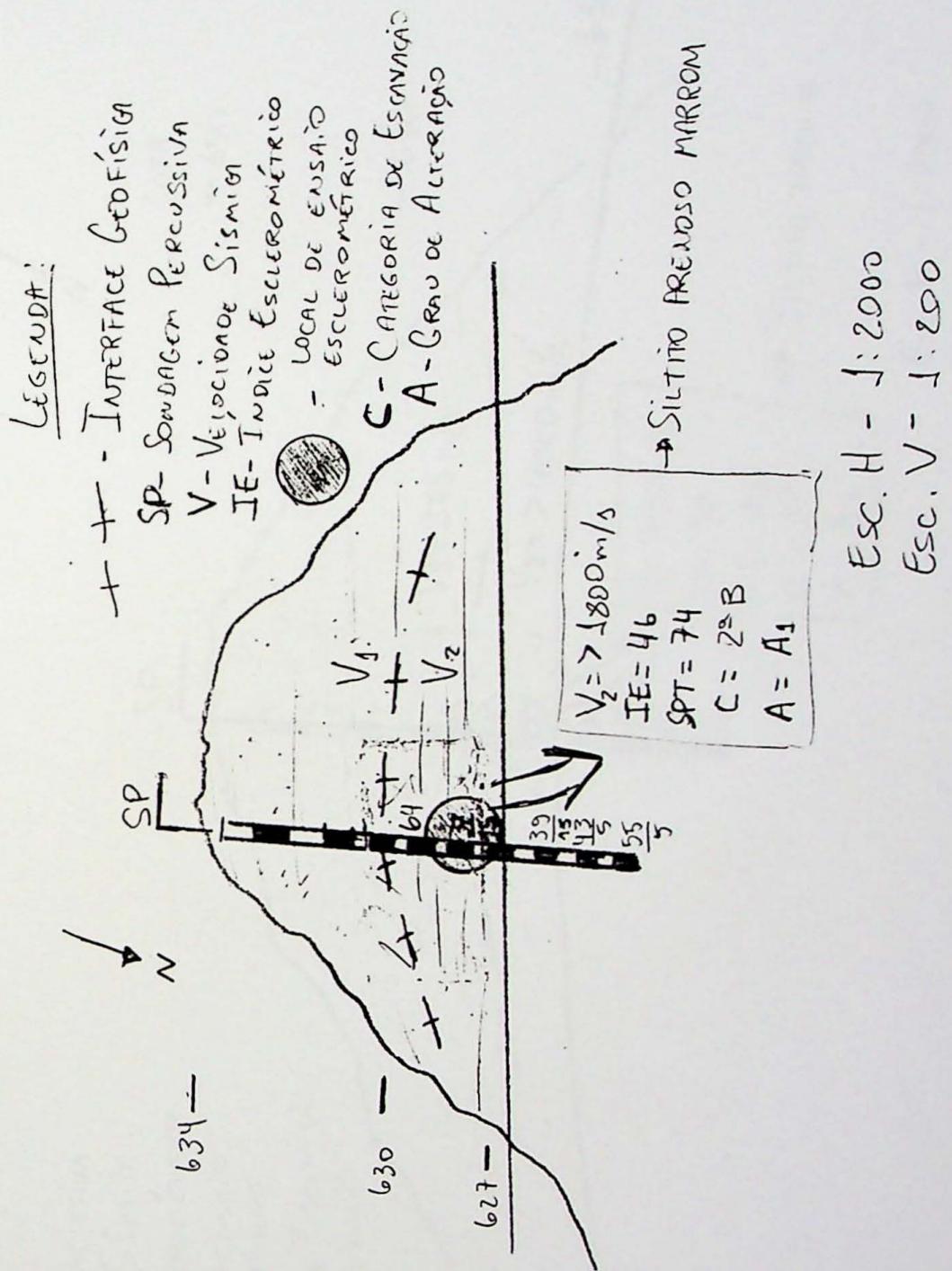
Croqui 4- Ponto 4

LEGENDA:

- V - Viscosidade Sísmica
- IE - Índice Esclerométrico
- Lote de ensaio
- Escal. Romeiro
- C - Categoria de Escavação
- A - Grau de Alteração

N





Croqui 5 - Ponto 5

LIGENDA:

- SP - Sondagem Percussiva
- V - Velocidade Sísmica
- IE - Indice Escalonamento
- Local de Ensinio
- Escalonamento
- C - Corte Goria de Escavação
- A - Cava de Arranjo

Croqui 6 - Ponto 7

