

## Rochas brandas: Extração e Preparação de Corpos de Prova para Estudos Geomecânicos

João Cândido V. Parizotto  
Universidade de São Paulo, Depto. de Geotecnia, São Carlos, Brasil, jcparizotto@gmail.com

Rogério P. Ribeiro  
Universidade de São Paulo, Depto. de Geotecnia, São Carlos, Brasil, rogeriopr@sc.usp.br

Antenor B. Paraguassú  
Universidade de São Paulo, Depto. de Geotecnia, São Carlos, Brasil, nonus@sc.usp.br

**RESUMO:** A extração de amostras brandas para a caracterização da rocha intacta é laboriosa. Em virtude de sua natureza frágil, as técnicas de conservação das amostras ou dos blocos (oriundos de testemunhos de sondagem ou de afloramentos sãos, respectivamente) merecem cuidado especial, dado a facilidade de se degradarem com mínimas variações de umidade relativa do ar, intensa manipulação ou fissilidade. Além disso, conforme orientam as diretrizes da ISRM (International Society for Rock Mechanics) e da ASTM (American Society for Testing and Materials), métodos e normas mais utilizados no campo da Mecânica das Rochas, considerável cautela com equipamentos é necessária para que as especificações quanto à dimensão, planaridade e rugosidade sejam atendidas. Quanto à extração e corte, é de suma importância a realização de testes anteriores à fase de extração definitiva, para que aspectos degradantes das amostras sejam categorizados, sejam estas de origem ígnea, sedimentar ou metamórfica. Evidentemente, mesmo que empregado intenso esforço em relação a esses aspectos, serão sempre as melhores porções do maciço as analisadas. É nesse contexto, que o presente trabalho apresenta metodologia de amostragem e extração empregada em pesquisa desenvolvida na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), utilizando-se de blocos de rocha branda silto-argilosa, provenientes de maciço rochosos do Grupo Itararé, nas proximidades do aeroporto de Viracopos e do possível traçado do projeto do Trem de Alta Velocidade (TAV). Objetivou-se a obtenção de amostras que atendessem às normas internacionais, por meio de testemunhos prismáticos e ou cilíndricos, compreendendo tanto ensaios destrutivos (resistência à compressão simples) quanto não destrutivos (ultrassônico e excitação por impulso). Os equipamentos para a extração foram: extrator cilíndrico Hilti e serra diamantada da indústria de Rocha Ornamental, aplicando-se metodologias de extração úmida e seca. A fase de testes mostrou a dificuldade de corte com a serra diamantada, e as vantagens das amostras cilíndricas por meio do método de extração via seca com ar-comprimido, além da obrigatoriedade de equipamentos bem calibrados e novos. Para cada método, aponta-se as adversidades e facilidades encontradas. Apresentam-se também resultados da verificação de aceitação dos testemunhos (segundo as normas), além de observações sobre procedimentos de verificação do equipamento de extração visando a diminuição de perdas de testemunhos em razão de quebras mecânicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rocha Branca, Siltito, Extração Via Seca, Amostras Cilíndricas

### 1 INTRODUÇÃO

Por se encontrarem justamente na interface de

maciços terrosos e rochosos, e ainda por levar em conta duas vertentes envolvendo profissionais com diferentes pontos de vista,

quanto ao entendimento sobre o que é uma rocha branda uma variada gama de classificações e interpretações é gerada, dificultando o objetivo em comum, que é a execução de obras com projetos seguros e parâmetros técnicos sensatos (Parizotto et al., 2014).

Neste contexto, as rochas sedimentares brandas têm um grande papel e abrangência no Brasil, foram e ainda são substratos terrosos ou rochosos que compõem fundações de barragens, de pontes e de estruturas prediais, assim como escavações a céu aberto e subterrâneas de ferrovias, rodovias, empreendimentos hidrelétricos, entre outros. Na conjuntura destes projetos são sempre evitadas ou removidas por escavações (ABGE, 1988; Dobereiner, 1990; Kanji, 2014).

É oportuno estudar este tema porque há uma demanda substancial de obras de engenharia no Brasil, como, por exemplo, o Trem de Alta Velocidade (TAV, Figura 1), que contempla o projeto de um serviço de transporte ferroviário de passageiros de alta velocidade que conectará as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas.

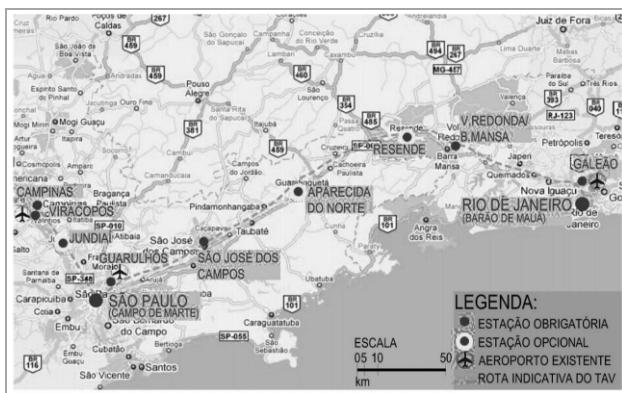
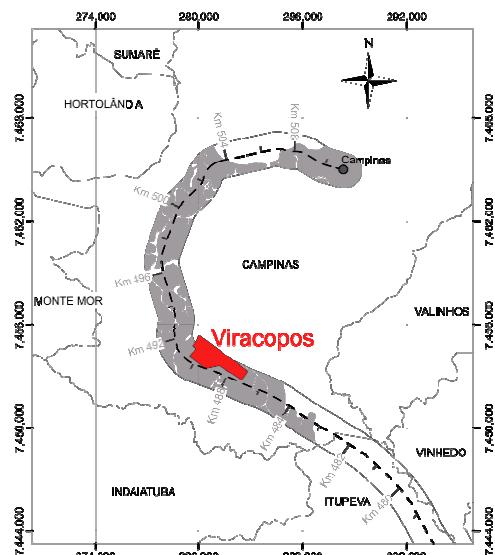


Figura 1. Traçado esquemático do TAV entre as cidades de Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas (CONSÓRCIO HALCROW-SINERGIA, 2009)

Conforme ilustrado na Figura 2, o traçado do TAV interceptará rochas sedimentares do Grupo Itararé aflorantes em uma faixa de aproximadamente 26 km que se estende dentro dos limites do município de Campinas. De acordo com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2009), são várias soluções de engenharia projetadas para essa extensão, sendo

elas túneis (3,4 km), pontes (2,2 km) e sucessivos cortes e aterros (20,4 km). Estudos preliminares (CPRM, 2009; IPT, 2010) são claros em apontar o potencial expansível e colapsável nessa zona, sugerindo futuros estudos acerca do assunto. Além disso, sugere-se atenção à escavação do túnel que, embora não tenha confronto indireto com a área de influência do aeroporto de Viracopos, medidas de controle de recalques e do N.A. devem ser realizadas, minimizando eventuais impactos negativos em caso de acidentes.



localizada nas proximidades do futuro empreendimento TAV brasileiro, com o propósito de entender as causas da pronunciada e rápida alteração da rocha intacta e simular experimentalmente a degradação hidromecânica causada pela simples variação da umidade relativa do ar. O acompanhamento da degradação dos corpos de prova efetuou-se com técnicas não-destrutivas de propagação de ondas que, aliadas a ensaios físico-mecânicos convencionais, possibilitaram se estimar as minorações do módulo de deformabilidade e da resistência. No presente trabalho, dá-se ênfase ao processo de amostragem e à preparação dos corpos de provas balizados por normativas técnicas, além das circunstâncias de escolha da pedreira para coleta dos blocos de siltito.

## 2 MATERIAL PÉTREO

Os materiais do Grupo Itararé estudados nesta pesquisa são explotados em mineração localizada nas imediações do Aeroporto de Viracopos (Figura 3), sendo utilizados como matéria-prima para produção de cerâmica (tijolos), e comumente denominados como “taguá”.

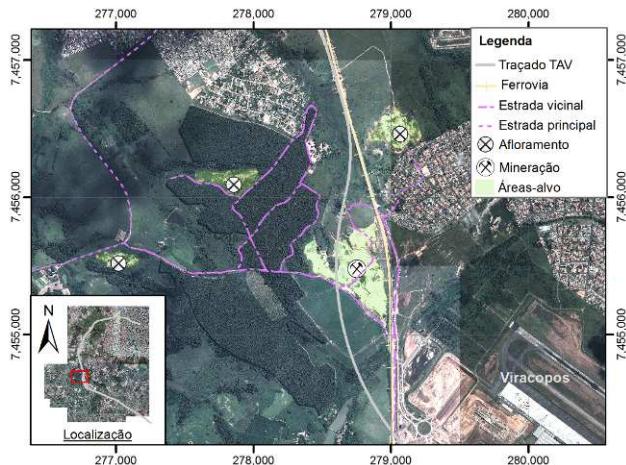


Figura 3. Foto-identificação de áreas com exposição de rocha. No destaque, local selecionado para amostragem.

Com base na avaliação expedita de campo, a rocha foi classificada como siltito maciço e físsil, tendo variação de cor entre amarelo, cinza e marrom. Os siltitos cinzas (Figura 4A,B) quando frescos são em geral maciços e

finamente laminados quando em baixo grau de alteração. Os siltitos amarelados representam o produto de alteração do anterior, cujas características estruturais são semelhantes. Os siltitos amarronzados são predominantemente laminados (milimétricos a centimétricos), sendo característico seu intenso empastilhamento.

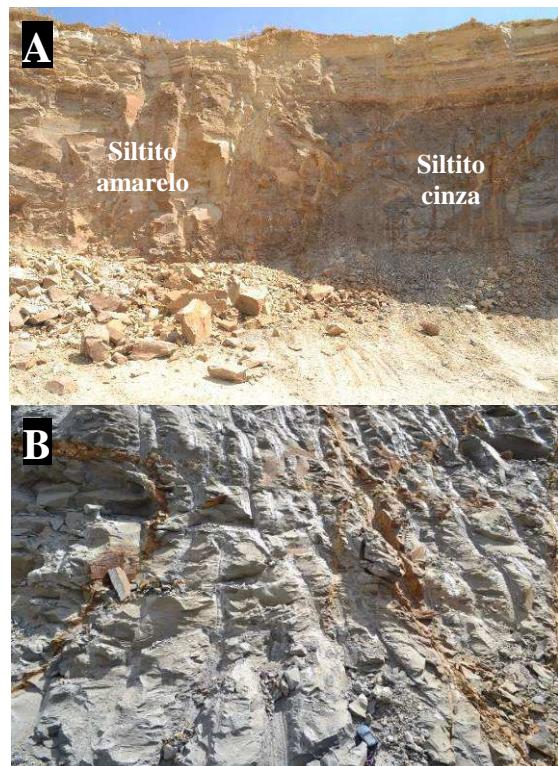


Figura 4. (A) Afloramento de siltitos amarelados e acinzentados; (B) estrutura maciça visualizada para os siltitos cinza.

Em virtude da desagregação menos pronunciada e certas facilidades em relação à amostragem, escolheu-se para estudo laboratorial os siltitos cinzas. Dados de análise petrográfica (Figura 5), de análise térmica diferencial (ATD), de difração de Raios X (DRX) e de microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Figuras 6 e 7) indicaram que estas rochas são compostas por caulinita, quartzo, feldspato potássico, pirita, clorita, paragonita e matéria orgânica. Constatou-se ainda que um dos agentes de maior importância na desagregação da rocha é a pirita. Quando em contato com a água, ela se transforma em ácido sulfúrico agindo com agente lixiviador de íons de outros minerais, tendo como consequência a formação de gipsita (Ca), anidrita (Ca) e

hexahidrita (Mg), constatada nos ciclos de imersão e secagem realizados em laboratório. Porém, entre os dois íons necessários para formação dos três minerais citados, se desconhece a origem do cálcio, dado que não foi identificada, por meio do MEV, presença de minerais de composição cárnea, tais como os carbonatos e os plagioclásios.

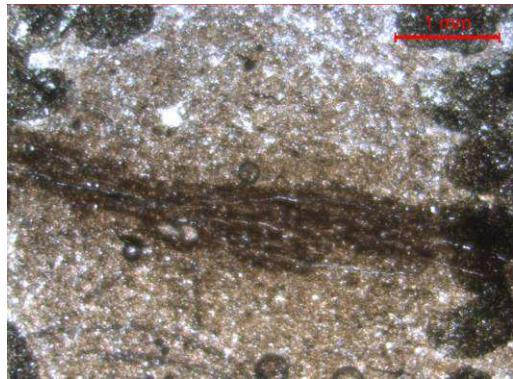


Figura 5. Fotomicrografia exibindo intercalação de níveis mais argilosos a partir de lâmina sem polimento, preparada para análise no MEV. Fissuras se formando ao longo desses níveis.

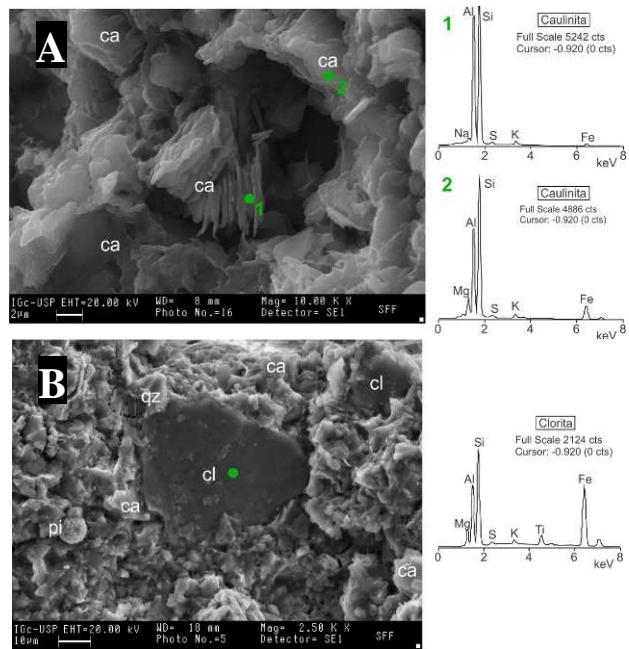


Figura 6. Imagens SE (Detector de Elétrons Secundários) e espectro EDS (Espectômetro de Dispersão de Energia de Raios X): (A) morfologia da caulinita (ca) em booklets, (B) Presença isolada de lamelas de clorita (cl), junto a quartzo (qz), caulinita (ca) e pirita framboidal (pi).

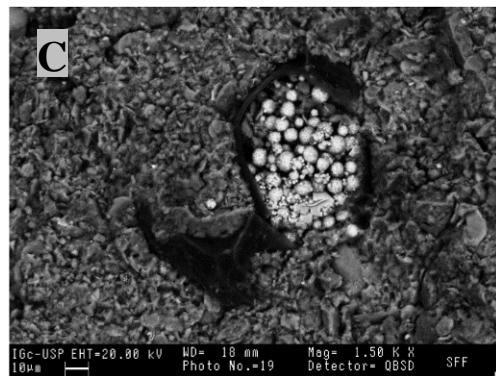


Figura 7. Sensor *QBSD* (Detector de Elétrons Retrospalhados) exibindo em destaque a formação de agregados de piritas frambooidais inclusas na matéria orgânica, bem distinta em preto.

### 3 MÉTODOS

Além das dificuldades de amostragem, os ensaios das rochas de baixa resistência apresentam certas peculiaridades. Recorre-se frequentemente à utilização de práticas rotineiras em ensaios da mecânica dos solos ou das rochas. Porém, os equipamentos utilizados em solos são pouco robustos para a caracterização de materiais mais resistentes e, por outro lado, os empregados em rochas são muito vigorosos, apresentando pouca sensibilidade para níveis de tensões baixos.

Como bem colocado por Nóbrega (1985), a solução ideal para o procedimento de ensaios com rochas de baixa resistência requereria o desenvolvimento de técnicas especialmente criadas ou adaptadas, para que atendessem às particularidades do comportamento frágil em termos de rocha dura e resistente em comparação aos solos. Contudo, tal normativa ainda não existe. Além de quais ensaios adotar, deve-se tomar cuidado na etapa de preparação das amostras, obedecendo na medida do possível, métodos sugeridos para as rochas duras.

Com base nestas premissas, no presente trabalho são pormenorizadas as seguintes etapas de investigação: (1<sup>a</sup>) Coleta piloto de amostras em campo; (2<sup>a</sup>) Testes laboratoriais de extração de corpos de prova prismáticos e cilíndricos (via úmida, via seca e via seca + ar comprimido) e (3<sup>a</sup>) preparação dos CPs (corte/retificação e medição/pesagem).

### 3.1 Coleta piloto de amostras em campo

Os siltitos acinzentados foram amostrados em frente de escavação ativa, proveniente do desmonte mecânico realizado com escavadeira.

Em campo, verificou-se relativa homogeneidade tanto lateral como vertical do maciço, de forma que todos os materiais representariam as mesmas condições geológicas compositionais e estruturais em relação à rocha intacta. Foram coletados 22 blocos, totalizando cerca de 950 kg.

### 3.2 Testes Laboratoriais de Extração de CPs

Com a utilização de siltitos na forma de blocos coletados em campo, foram efetuadas tentativas de extração de CPs nas geometrias prismática e cilíndrica, considerando a direção perpendicular aos planos de fissilidade da rocha. As Tabelas 1 e 2 mostram os ensaios e as relações diâmetro/altura e geometria necessárias para o atendimento das normas específicas para cada ensaio.

Tabela 1. Ensaios físicos/geomecânicos e respectivas normas técnicas (PARIZOTTO, 2015).

Ensaios	Norma
RCU - Resistência à compressão uniaxial	D4543 (ASTM, 2008) / C170 (ASTM, 2014)
PU- Pulso Ultrassônico	ISRM (2014)
EI - Excitação por impulso	C215 (ASTM, 2014)
IF - Índices físicos	ISRM (1977a)
CP - Carga Puntiforme	D5731 (ASTM, 2008)

Tabela 2. Especificação das dimensões e massa necessários para ensaios com amostras geométricas realizados por Parizotto (2015).

Ensaios	Cilíndrico		Prismático/Cúbico	
	D mínimo	Razão A/D	D mínimo	Razão A/D
RCU	47 mm	2 a 2,5	50mm	1
PU	50 mm	> 2	50 mm	> 2
EI	instrumento de golpe	2 a 5	instrumento de golpe	2 a 5
IF	Dmínimo > 10x o maior grão			
CP	30mm	1/3 a 1	30mm	1/3 a 1

Nota-se, que em média, as amostras cilíndricas deveriam apresentar diâmetros mínimos de 50mm e razão altura / diâmetro superior a 2, em relação aos ensaios de RCU e propagação de ondas. Para o caso dos ensaios de índices físicos e carga puntiforme, caso atendidas as especificações dos ensaios anteriores, essas também seriam alcançadas. Em relação aos testemunhos prismáticos de RCU, se atenderia apenas a razão de diâmetro mínimo e se utilizaria a A/D tendo testemunhos cilíndricos como base, pois a utilização de uma relação 1:1 inviabilizaria a concomitante execução dos ensaios de excitação por impulso.

#### 3.2.1 CPs prismáticos

Mesmo com a razão A/D não obedecida, foram feitas tentativas de corte de amostras prismáticas utilizando-se serras diamantadas, por meio de via seca (Figura 8) e úmida.



Figura 8. Tentativas de corte a seco realizadas em marmoraria. Notar a poeira gerada no corte, além da insuficiência de altura para cortes em razão do diâmetro usual das serras diamantadas.

Contudo, foram inúmeras as dificuldades encontradas como, por exemplo, a altura de corte que é limitada pelo raio do disco, a dificuldade em ser deixar as faces paralelas, a rugosidade gerada em razão da espessura e da vibração do disco. Outro fator foi a intensa poeira gerada no corte a seco, pela impossibilidade de corte por via úmida, porque a amostra fissurava-se.

#### 3.2.2 CPs cilíndricos

As amostras cilíndricas foram extraídas dos blocos por meio de perfuratriz com broca

diamantada (diâmetro externo de 80mm e interno de 57,2 mm), que apresenta duas opções de velocidades. Testaram-se três metodologias de perfuração: via úmida (água), via seca com e sem ar-comprimido. No caso do sistema de ar-comprimido, implantou-se tubulação conectada à um filtro com capacidade de 20 bar, afim de reter qualquer tipo de umidade que ainda houvesse na tubulação (Figura 9).



Figura 9. Esquema de montagem da perfuratriz: (A) Sistema de filtragem do ar-comprimido e (B) Acoplamento de mangueira de refrigeração da broca.

Em etapa piloto de extração, para todos as metodologias não foram obtidos CPs com as relações necessárias de altura. As dificuldades foram as seguintes: a) Via úmida: alteração das condições de umidade e aparecimento de fissuras após certo tempo de extração, altura máxima de 4 cm com intensa quebra mecânica (causada pela pressão do fluido); b) Via seca: superaquecimento da broca diamantada e do cálice, falta de remoção das partículas perfuradas e travamento do extrator, furo perdido; c) Via seca com ar-comprimido: eficiente refrigeração da broca e remoção das partículas perfuradas, excessiva produção de poeira, podendo gerar danos à refrigeração do extrator, altura máxima recuperada de 7 cm, em função da vibração excessiva da broca.

Nos testes, eliminaram-se as duas primeiras metodologias, optando-se pela terceira (via seca com ar-comprimido), sendo que a usinagem de uma nova peça de acoplamento do cálice ao extrator minimizou as quebras mecânicas dos testemunhos.

Além disso, implementou-se caixa de

isolamento ao redor do bloco rochoso afim de evitar a contaminação excessiva do ambiente com poeira (Figura 10A). Junto à caixa, foram deixadas apenas entradas para a broca, além de orifícios laterais para inserção de canalização de aspiradores de pó, que sorviam grande parte do resíduo gerado durante a perfuração (Figura 10B).

Com a definição deste procedimento de extração de amostras, foi realizada nova coleta de blocos em campo. Posteriormente, as perfurações totalizaram 12,80m de testemunhos, com aproximadamente 40% do material extraído acima de uma razão 2:1 (Figura 10C). Após a extração, cada testemunho foi acondicionado em filme de PVC, para que ficassem preservados e que mantivessem as condições de umidade.

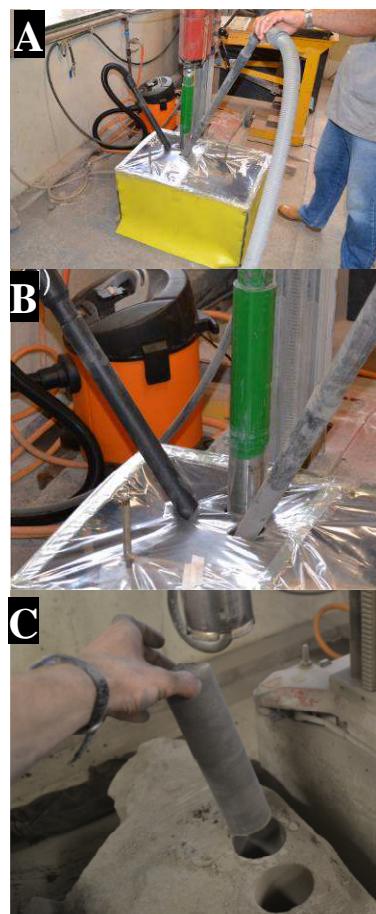


Figura 10. (A) Caixa de isolamento, (B) Sistema de aspiração de pó e (C) Aspecto do bloco sem a caixa de isolamento e após a retirada do corpo de prova.

### 3.3 Preparação e Qualidade dos CPs

Para o corte das extremidades, utilizou-se o

corte a seco com serra diamantada (espessura de 1,4mm) de laminadora (Figura 11.A), cujos talhes exibem planos paralelos aparentemente sem irregularidades. Para eliminar qualquer rugosidade que tivesse sido mantida durante o corte, empregou-se retífica plana (a seco) com um sistema de aspiração da poeira (Figura 11.B).

Com a utilização de peça usinada do acoplamento do cálice ao extrator e de brocas novas ou com bom poder de corte, obteve-se superfícies lisas e sem irregularidades das laterais dos corpos de prova. Essa verificação foi feita com paquímetro (precisão de 0,02 mm).



Figura 11. (A) Serra de laminadora utilizada para o corte de topo e base das amostras; (B) Retificadora de topo e base.

Seguindo esta metodologia, foram preparados um total de 32 CPs com uma relação A/D (altura/ diâmetro) de 2:1. Desses, 12 foram utilizados para ensaios de resistência à compressão simples e denominados com a sigla CP, e 20 para os ensaios de degradação hidromecânica, nomeados com a sigla DH. O gráfico da Figura 12 e os dados da Tabela 3 apresentam as relações A/D com a altura, bem como a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação, mínimo e máximo das alturas, diâmetros e razões A/D de todos os CPs. Observar que apenas 1 dos CPs não obteve uma

relação A/D satisfatória (1,96).

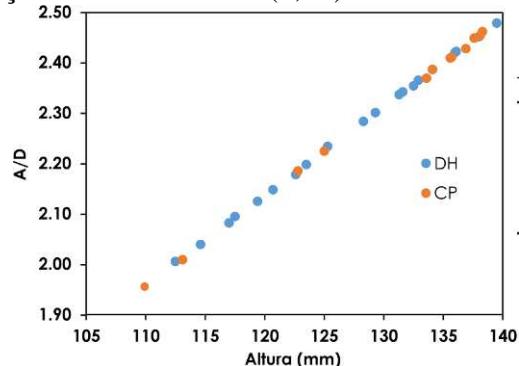


Figura 12. Relações A e A/D dos CPS para os ensaios de RCU e degradação hidromecânica (Parizotto, 2015).

Tabela 3. Estatística dos 32 CPs extraídos para os ensaios de RCU e degradação hidromecânica (Parizotto, 2015).

	A	D	A/D		
$\bar{x}$	128,23	$\bar{x}$	56,23	$\bar{x}$	2,28
$C_v$	6,94%	$C_v$	0,13%	$C_v$	6,88%
Mín.	109,90	Mín.	56,10	Mín.	1,96
Máx.	139,50	Máx.	56,40	Máx.	2,48
AT	29,60	AT	0,30	AT	0,52

Legenda: A-altura; D- diâmetro.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de rochas brandas argilo-siltosas, envolve uma gama de ensaios de caracterização mineralógica, física, físico-mecânica, físico-química e de alteração laboratorial. Esses estudos tratam de materiais pétreos cuja amostragem em campo, preparação de CPs e mesmo procedimentos de ensaios laboratoriais devem ser considerados com a devida cautela, visto que frequentemente não atendem aos requisitos normatizados para rochas duras (resistentes).

Este trabalho apresentou e discutiu diferentes alternativas de extração laboratorial de CPs em blocos amostrados em campo, provavelmente uma das operações mais difícil e complexa na temática das rochas brandas.

Quanto aos métodos de extração de CPs para ensaios de caracterização geomecânica em sititos do Grupo Itararé desenvolvidos por Parizotto (2015), verificou-se que:

- Os procedimentos de coleta e extração por meio de extrator em laboratório foram excepcionais, resultando em CPs de boa qualidade e que atenderam as normas

- vigentes para rochas resistentes;
- A utilização do método de via seca com ar-comprimido resultou em corpos de prova lisos e sem irregularidades, atendendo o especificado e evitando exposições mais duradouras das amostras sem a proteção de filme de PVC;
- Além disso, a regularização do topo e base dos testemunhos pelo método da via seca permitiu superfícies dentro das tolerâncias de rugosidade e paralelismo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior (CAPES) pelo suporte financeiro desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE (1988) *Primeiro relato do Comitê de Estudos Geotécnicos de rochas sedimentares*. 1<sup>a</sup> ed., ABGE, São Paulo, 160 p.
- American Society for Testing and Materials - ASTM (2014) C170: Standard test method for compressive strength of dimension Stone, West Conshohocken, p.3.
- American Society for Testing and Materials - ASTM (2014) C215. Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens, West Conshohocken, p.7.
- American Society for Testing and Materials - ASTM (2008) D4543. Standard practices for preparing rock core as cylindrical test specimens and verifying conformance to dimensional and shape tolerances, West Conshohocken, p.9.
- American Society for Testing and Materials - ASTM (2008) D5731. Standard test method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications, West Conshohocken, p.12.
- Consórcio Halcrow-Sinergia (2009) Projeto TAV Brasil, v.2, Estudos do Traçado. Disponível em: [http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/13218/ TRACADO\\_REFERENCIAL.html#lista](http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/13218/ TRACADO_REFERENCIAL.html#lista) Acesso em: 18 dez. 2013.
- Dobereiner, L. (1990) Weak Rocks in Brazil, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, v. 42, p 21-29.
- Galván, V.R. (1999) *Simulação das propriedades geotécnicas das rochas arenosas brandas por meio de materiais artificiais*. Tese de Doutorado (Geotecnia), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 569 p.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2010) Sugestões de Técnicas e Métodos de Investigação Geológico-geotécnica a ser aplicadas ao longo do traçado do TAV entre as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas. Relatório Técnico 115 372-205, p. 31.
- International Society for Rock Mechanics - ISRM (1977) Commission on testing methods, Part 1: Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties, *International Journal on Rock Mechanics Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v.16, n.2, p 143-151.
- International Society for Rock Mechanics – ISRM (2014) The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014. New York: Springer, p. 292.
- Kanji, M.A. (2014) Critical Issues in soft rocks, ISRM Conference on Soft Rocks Proceedings, Pequim, China, 2014. Proceedings...
- Nóbrega, C.A. (1985) *Considerações sobre a caracterização da resistência e deformabilidade em rochas de baixa resistência através de ensaios em laboratório e “in situ”*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 106 p.
- Parizotto, J.C.V.; Ribeiro, R.P.; Paraguassú, A. B. (2014) Soft rocks: Relevant Aspects to the Resumption of the studies in Brazilian Geotechnics. Proceedings... Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas, Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure – ISRM Specialized Conference, p. 7, formato eletrônico.
- Parizotto, J.C.V. (2015) *Degradação hidromecânica de rochas brandas silto-argilosas*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 231p.
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM – (2009). Mapeamento Geológico-geotécnico e delimitação das áreas de risco geológico ao longo do traçado da via do trem de alta velocidade – TAV. SIG – CPRM – TAV. Relatório da Primeira etapa. CPRM. p. 205. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publice/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1259&sid=9>>. Acesso em: 20 out. 2013.
- Torres, M.C.S. (2011) *Efectos de los ciclos de carga-descarga y humedecimiento-secado en el comportamiento geomecánico de rocas lodosas de los andes colombianos*. Tese de Doutorado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá, 493 p.