



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

RBGEA

REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL



**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**

REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

Publicação Científica da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental

EDITORES

Alessandra Cristina Corsi - IPT
Prof. Dr. Emílio Velloso Barroso - UFRJ
Prof. Dra. Kátia Canil - UFABC
Prof. Dra. Malva Andrea Mancuso - UFSM
Prof. Me. Marcelo Denser Monteiro - Metrô - SP / UAM

REVISORES

Adalberto Aurélio Azevedo - IPT	José Domingos Gallas - USP
Alberto Pio Fiori - UFPR	José Eduardo Rodrigues - USP
Aline Freitas da Silva - DRM-RJ	José Eduardo Zaine - UNESP
Alessandra Cristina Corsi - IPT	José Luiz Albuquerque Filho - IPT
Angelo José Consoni - TSAP	Kátia Canil - UFABC
Antonio Cendrero - Univ. da Cantabria (Espanha)	Leandro Eugênio da Silva Cerri - UNESP
Antonio Manoel Santos Oliveira - UNG	Lídia K. Tominaga - IG/SMA
Candido Bordeaux Rego Neto - IPUF	Luis de Almeida Prado Bacellar - UFOP
Clovis Gonzatti - CIENTEC	Luiz Nishiyama - UFU
Denise de la Corte Bacci - USP	Luiz Fernando D'Agostino - Nucleo
Diana Sarita Hamburger - UFABC	Malva Andrea Mancuso - UFSM
Dirceu Pagotto Stein - Geoexec	Marcelo Fischer Gramani - IPT
Edilson Pissato - USP	Marcilene Dantas Ferreira - UFSCar
Eduardo Brandau Quitete - IPT	Marcelo Denser Monteiro - Metrô - SP / UAM
Eduardo Goulart Collares - UEMG	Marcia Pressinotti - IG/SMA
Eduardo Soares de Macedo - IPT	Marcio A. Cunha - Consultor
Emilio Velloso Barroso - UFRJ	Maria Cristina Jacinto Almeida - IPT
Eraldo L. Pastore - Consultor	Maria Heloisa B.O. Frascá - Consultora
Fábio Soares Magalhães - Vogbr	Maria José Brollo - IG/SMA
Flávio Almeida da Silva - Engecorps	Marta Luzia de Souza - UEM
Frederico Garcia Sobreira - UFOP	Nelson Meirim Coutinho - GEORIO
Ginaldo Campanha - USP	Newton Moreira de Souza - UnB
Guido Guidicini - Geoenergia	Noris Costa Diniz - UnB
Helena Polivanov - UFRJ	Oswaldo Augusto Filho - USP
Jair Santoro - IG/SMA	Reinaldo Lorandi - UFSCar
João Francisco Alves Silveira - Consultor	Renato Luiz Prado - USP
Jorge Kazuo Yamamoto - USP	Ricardo Vedovello - IG/SMA
José Alcino Rodrigues de Carvalho - Univ. Nova de Lisboa (Port.)	Yociteru Hasui - Consultor
José Augusto de Lollo - UNESP	

APOIO EDITORIAL

Luciana Marques

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Rita Motta - Editora Tribo da Ilha

Volume 5 - Número 2

2015

ISSN 2237-4590

DIRETORIA ABGE GESTÃO 2016/2018

Presidente: Adalberto Aurélio Azevedo
Vice Presidente: Lídia Keiko Tominaga
Diretor Secretário: Alessandra Cristina Corsi
Diretor Secretário Adjunto: Deyna Pinho
Diretor Financeiro: José Luiz Albuquerque Filho
Diretor de Cursos: Ivan José DELatim
Diretora de Eventos: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis
Diretora de Eventos Adjunto: Renata Augusta Rocha N. de Oliveira
Diretor de Comunicação: Marcelo Denser Monteiro
Diretor de Comunicação Adjunto: Tiago Antonelli
Diretor de Publicação: Andrea Bartorelli
Diretor de Publicação Adjunto: Edilson Pissato

CONSELHO DELIBERATIVO

Adalberto Azevedo, Alessandra Corsi, Andrea Bartorelli, Deyna Pinho, Edilson Pissato, Fábio Reis, Flávio Almeida, Glaucia Cuchierato, Ivan Delatim, José Luiz Albuquerque Filho, Leandro Castro, Lídia Tominaga, Luiz Fernando, Marcelo Denser, Mateus Delatim, Renata Rocha, Silvia Kitaraha e Tiago Antonelli.

NÚCLEO RIO DE JANEIRO - Aline Freitas das Silva

Conselho Deliberativo: Aline Freitas Silva, Hugo Machado, Rodrigo França, Rodney Nascimento, Rúbia Azevedo e Thiago Santos

NÚCLEO MINAS GERAIS - Fábio Magalhães

Conselho Deliberativo: Alberto Amaral, Fábio Magalhães, Gilvan Sá, Luis Bacellar, Maria Giovana Parizzi, Sandra Fernandes e Thiago Teixeira

NÚCLEO SUL - Malva Andrea Mancuso

Conselho Deliberativo: Alberto P. Fiori, Andrea V. Nummer, Débora Lamberty, Eduardo C.B. Carvalho, Erik Wunder, Hermann Vargas, Juan Antonio A. Flores, Luiz A. Bressani e Malva Andrea Mancuso.

NÚCLEO CENTRO OESTE - Ingrid Lima

Conselho Deliberativo: Bruno Diniz, Dário Peixoto, Getúlio Ezequiel, Ingrid Lima, João Armelin, Kurt Albrecht, Juliana Sobreira e Ricardo Vilhena

NÚCLEO NORTE - Cláudio Szlafstein

Conselho Deliberativo: Dianne Danielle Farias Fonseca, Lenilson José Souza de Queiroz, Luciana de Jesus P.P. Miyagawa, José Antonio da Silva, Renato R. Mendonça, Jubal C. Filho e Nilton de Souza Campelo, Loury Bastos, Patrícia Mara Lages Simões, Raimundo Almir C. da Conceição, Sheila Gatinho Teixeira, Túlio A. de Araújo Mendes.

NÚCLEO NORDESTE - Carlos Henrique Medeiros

Conselho Deliberativo: Edval Lopes da Silva, Fagner França, Francisco Said Gonçalves, Heitor Neves Maia, José Braz Diniz Filho, Kleiton Cassimiro, José Vitoriano de Britto Neto, Marcos Paulo Souza Novais, Olavo Santos Junior, Ubiratã Maciel, Ricardo Farias do Amaral e Vanildo Fonseca



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

SECRETARIA EXECUTIVA

Secretária Executiva: Luciana Marques
Av. Profº Almeida Prado, 532 - Prédio 11 -
Cidade Universitária - São Paulo - SP
Telefone: (11) 3767-4361 / (11) 3719-0661
Email: abge@abge.org.br - Home Page: www.abge.org.br



É com grande satisfação que apresentamos o segundo número da Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) do ano de 2015. Os artigos publicados abordam diferentes temas na área da Geologia de Engenharia e Ambiental, sendo de interesse de todos os associados da ABGE.

Maurício Pozzobon e colaboradores tratam da análise da suscetibilidade a deslizamentos da unidade geomorfológica Serrania do Baixo e Médio Itajaí-Açu, no município de Blumenau/SC. Os autores aplicaram a regra de Bayes da probabilidade condicional, através da técnica de pesos de evidência, para analisar as relações espaciais entre um conjunto de potenciais fatores condicionantes de deslizamentos e um conjunto de 205 cicatrizes de deslizamentos ocorridos em 2008, na área de estudo. São apresentadas 6 diferentes combinações de integração dos fatores.

O artigo apresentado por Daniela Garroux Gonçalves de Oliveira e colaboradores aborda a aplicação do televisionamento de sondagens em uma fase de projeto básico do Metrô de São Paulo. A partir dos dados de estruturas obtidas em 17 sondagens, com a perfilagem de 503 metros de rocha, foram definidos os principais blocos formados e analisada a estabilidade destes ao longo dos trechos de túnel e nas paredes de vala de estações e poços.

Marcos Tanaka Riyis e coautores apresentam um estudo de caso onde diversas ferramentas de investigação de alta resolução foram utilizadas em conjunto para determinar, delimitar e caracterizar as diversas camadas estratigráficas de um

solo residual contaminado por óleo lubrificante para a estimativa da massa de contaminantes.

Uma metodologia alternativa para determinação do escoamento superficial por chuva e dos sedimentos gerados por erosão em taludes naturais ou construídos, aplicada por meio da adoção de um sistema de chapas de coletas é proposto no trabalho de Jucielli Quatrin Nunes e colaboradores da UFTPR e da UNESP.

Vitor Santini Müller e coautores da UFSC publicam um artigo onde apresentam um protocolo para a realização, em campo, de ensaios de cisalhamento direto em regime de múltiplos estágios no contexto de mapeamento geotécnico; uma alternativa que possibilita a obtenção expedita de parâmetros de resistência a partir de uma adaptação do equipamento tradicionalmente utilizado em laboratório.

O artigo de Fábio Conrado de Queiróz e colaboradores apresenta uma compilação de dados de propriedades e parâmetros físicos do acervo de rochas silicatadas do IPT, composto por um universo de 412 amostras. Os resultados desta compilação contribuem significativamente com a definição de parâmetros para estudos futuros.

Estamos certos de que o conjunto das informações disponíveis em mais este número da RBGEA configura uma contribuição relevante de profissionais da área de Geologia de Engenharia e Ambiental para a aplicação de novas metodologias e novos procedimentos na área.

Desejamos a todos uma ótima leitura!



- 9** ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRANIA DO BAIXO E MÉDIO ITAJAÍ-AÇU, NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC
Maurício Pozzobon
Gustavo R. Curcio
Claudinei T. da Silveira
- 26** APLICAÇÃO DO TELEVISIONAMENTO DE SONDAgens EM FASE DE PROJETO BÁSICO DO METRÔ DE SÃO PAULO
Daniela Garroux Gonçalves de Oliveira
Marcelo Denser Monteiro
Fabio Taioli
Hugo Cassio Rocha
Gabriel Guimarães Facuri
Alessandro Lugli Nascimento
- 38** ESTIMATIVA DA MASSA DE CONTAMINANTES COMPARANDO TÉCNICAS TRADICIONAIS COM FERRAMENTAS DE INVESTIGAÇÃO DE ALTA RESOLUÇÃO (HRSC)
Marcos Tanaka Riyis
Heraldo Luiz Giacheti
Mauro Tanaka Riyis
Rafael Muraro Derrite
- 50** METODOLOGIA ALTERNATIVA PARA DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL POR CHUVA E DOS SEDIMENTOS GERADOS POR EROSÃO EM ENCOSTAS
Jucielli Quatrin Nunes
Vitor André Genehr
Simone Andrea Furegatti
- 61** PROPOSIÇÕES PARA UM CISALHAMENTO DIRETO DE CAMPO: ALTERNATIVA EM MAPEAMENTOS GEOTÉCNICOS
Vitor Santini Müller
Nilo Rodrigues Júnior
Matheus Klein Flac
Murilo da Silva Espíndola
Regiane Mara Sbroglia
Rafael Augusto dos Reis Higashi
Juan Antonio Altamirano Flores

RELAÇÃO ENTRE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ROCHAS SILICATADAS BRASILEIRAS

RELATIONSHIP BETWEEN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BRAZILIAN SILICATE ROCKS

FÁBIO CONRADO DE QUEIRÓZ

Autônomo

E-mail: fconrado5358@gmail.com

EDUARDO BRANDAU QUITETE

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A – IPT, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: quitete@ipt.br

LÚCIA SILVEIRA DOZZI

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A – IPT, São Paulo, SP, Brasil E-mail: ludozzi@ipt.br

ELY BORGES FRAZÃO

In Memoriam

RESUMO ABSTRACT

Mais de quatro centenas de amostras de rochas silicatadas usadas como revestimento de edificações no Brasil foram caracterizadas por meio de ensaios físicos e mecânicos, tendo por base as normas da ABNT. Predominaram gnaiesses (38%) e granitos (33%). As demais rochas eram de composição intermediária e básica. O objetivo do trabalho foi encontrar relações estatísticas entre diferentes ensaios, particularmente entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade. Os valores das propriedades obtidos de ensaios foram porosidade aparente (η), resistência à compressão simples (σ_c), velocidade de onda longitudinal (V_p) e módulo de elasticidade estático (E_e). Valores de módulo de elasticidade dinâmico (E_{dc}) foram determinados por cálculos, a partir dos valores de velocidade de propagação e densidade. De forma semelhante o módulo de elasticidade estático (E_{ec}) foi calculado a partir de valores de resistência à compressão, obtidos a partir de ensaios. Para o cálculo do módulo de elasticidade estático (E_{ec}), obteve-se o valor de um coeficiente de proporcionalidade (k) associado ao valor da tensão de compressão (σ_c) obtido em ensaios e ao valor do módulo de elasticidade (E_e) também obtido de ensaio: $E_{ec} = k \cdot \sqrt{\sigma_c}$, onde $k=120,81$. O tratamento estatístico revelou que as correlações entre estas e outras propriedades variaram de medianas a baixas.

Palavras-chave: rochas; propriedades; ensaios; correlação; módulo de elasticidade.

More than four hundred silicatic rock samples used in Brazil for cladding were characterized by means of physical and mechanic tests based on Brazilian (ABNT) standards. The most common type of rock samples were gneiss (38%) and granite (33%). The others were intermediary to basic rocks. The aim of this work was to find statistic relations between different tests, especially compressive strength and modulus of elasticity. The determined properties were apparent porosity (η), uniaxial compressive strength (σ_c), longitudinal ultrasonic pulse velocity (V_p) and static modulus of elasticity (E_e). The dynamics moduli were calculated from the pulse velocity and density values and so a proposed calculated static modulus of elasticity (E_{ec}) from the uniaxial compressive strength. A proportion coefficient (k) was determined to allow the determination of the calculated static modulus of elasticity. The coefficient was obtained from the compressive strength (σ_c) and static modulus of elasticity (E_e) values from the tests: $E_{ec} = k \cdot \sqrt{\sigma_c}$, where $k=120.81$. The statistic treatment showed that the correlation between these and the other properties ranged from medium to weak.

Keywords: rocks; properties; tests; correlation; modulus of elasticity

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades de rochas é importante tanto do ponto de vista do saber, quanto da sua utilidade para diferentes tipos de utilização, sejam como materiais de construção sejam como elementos de maciços rochosos, nos seus aspectos físicos e mecânicos.

Este artigo apresenta a compilação de algumas informações disponíveis no antigo Laboratório de Tecnologia de Rochas, que hoje faz parte do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), do Instituto de Pesquisas Tecnológica – IPT de São Paulo, sobre características tecnológicas das rochas, que já tinham sido objeto de tratamento estatístico descritivo, conforme Frazão *et. al.* (2013) e Frazão & Farjallat (1995, 1996).

O enfoque escolhido foi o de apresentar as principais propriedades consideradas relevantes para a descrição litológica de maciços, verificar a relação entre seus valores por meios estatísticos, apresentar os graus de correlação obtidos e expressar os resultados em tabelas e gráficos.

Os valores encontrados neste estudo podem ser úteis para avaliação das características litológicas e petrográficas de maciços rochosos na fase da investigação geológico-geotécnica, particularmente para os setores mais homogêneos do maciço rochoso, que se caracterizam como litotipos, além de poder indicar sua qualidade como material de construção. Considerando que várias etapas são seguidas nessa avaliação dos maciços, uma antevisão de seu comportamento pode ser obtida por meio de estimativa ao se utilizar equações de correlação estatísticas desenvolvidas em diversos estudos em tecnologia e mecânica das rochas.

Procurou-se aplicar índices de correlação que pudessem estimar a relação entre as propriedades, além de estimar resultados de propriedades não obtidas por ensaios a partir daquelas determinadas em laboratório. Embora as propriedades das rochas não guardem graus de correlação elevados, é possível tentar relações que permitam avaliar possíveis interdependências entre elas.

Neste aspecto algumas propriedades foram escolhidas para alcançar-se o intento, quais sejam: porosidade aparente (η), capacidade de absorção d'água (α), resistência à compressão uniaxial (σ_c),

módulo de elasticidade estático tangente (E_e), velocidade de propagação de ondas longitudinais (V_p) e coeficiente de Poisson (ν).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras estudadas neste trabalho compõem um acervo de ensaios realizados no IPT em um período de 20 anos (entre 1992 e 2012). Este universo, com 412 amostras, foi tratado por Frazão *et. al.* (2013) e se constitui predominantemente de gnaisses (38 %) e granitos (33 %), distribuídos por quase todo território brasileiro. Dentre as demais rochas incluem-se sienitos, charnockitos, granodioritos (cada um contribuindo com cerca de 4 % das amostras), nefelina sienitos (2 %), monzonitos e gabros.

As propriedades selecionadas para este trabalho foram: porosidade aparente (η), absorção d'água (α), resistência à compressão uniaxial (σ_c), módulo de elasticidade estático tangente (E_e), velocidade de propagação de ondas longitudinais (V_p) e coeficiente de Poisson (ν). Todos os valores utilizados foram obtidos no banco de dados de ensaios em rocha do LMCC do IPT. Procurou-se relacionar a porosidade aparente com as demais propriedades escolhidas, por ser uma propriedade intrínseca e ser a que mais influi nas demais. Fizeram-se também relações cruzadas entre as outras propriedades.

Foram utilizadas a estatística descritiva e a análise de regressão das propriedades para se conseguir as equações de regressão, coeficientes de determinação, média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação e os valores mínimos e máximos para cada propriedade.

Quanto à aplicação de índices para estimar o valor de uma propriedade, ainda desconhecida, a partir de outra conhecida por ensaio, adotou-se estimar o módulo de elasticidade estático a partir de valores conhecidos de compressão uniaxial determinados em ensaios. Para tanto se utilizou uma equação simplificada, qual seja:

$$E_e = k\sqrt{\sigma_c} \quad (1)$$

Onde:

E_e = módulo de elasticidade estático tangente em GPa

k = constante, cujo valor será definido neste trabalho

σ_c = resistência à compressão uniaxial em GPa

Da mesma forma procurou-se, neste trabalho, calcular os valores de módulo de elasticidade dinâmico (E_d) em Pa, a partir dos valores de massa específica aparente (ρ) em kg/m^3 , da velocidade de propagação de ondas longitudinais (V_p) em m/s e coeficiente de Poisson (n), conforme a equação abaixo, apresentada, entre outros, por Siegesmund & Dürrast (2011):

$$E_d = \rho \frac{V_p^2(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \quad (2)$$

Onde:

E_d = módulo de elasticidade dinâmico em Pa

ρ = massa específica aparente em Kg/m^3

n = coeficiente de Poisson (adimensional)

Adotando-se um valor fixo para o coeficiente de Poisson, $n = 0,30$, obtém-se:

$$E_d = \rho \frac{26V_p^2}{35} \quad (3)$$

3 DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES ESTUDADAS

Descrevem-se a seguir as propriedades estudadas e suas significâncias: porosidade e absorção de água, resistência à compressão uniaxial, velocidade de propagação de ondas longitudinais e módulos de elasticidade estático e dinâmico. Como as propriedades foram determinadas em um longo período, as normas pertinentes passaram por melhorias e assim, receberam numerações e versões distintas. Por isso não serão citadas as normas de referência para os ensaios.

3.1 Porosidade aparente e absorção de água

A porosidade aparente e a absorção de água foram determinadas através da determinação do peso seco em estufa, do peso saturado em água

e do peso submerso de, pelo menos 10 corpos de prova por amostra. A porosidade aparente é a mais importante propriedade intrínseca das rochas, por influenciar em maior ou menor grau as propriedades físicas e mecânicas. É de relativamente fácil determinação. A porosidade aparente tem sido utilizada por ser a de maior correspondência com as propriedades mencionadas acima e influenciar a capacidade de absorção de água. Esta, por sua vez, facilita o enfraquecimento das rochas. No método de determinação utilizado as duas propriedades são calculadas a partir dos mesmos dados (peso seco, peso saturado com água e peso submerso na água), de modo que são diretamente proporcionais. Assim, a realização de estudo estatístico entre as duas propriedades não se aplica a este trabalho.

3.2 Resistência à compressão uniaxial

A determinação da resistência à compressão é de relativamente fácil execução, e de baixo custo, e apresenta valores confiáveis desde que sejam rigorosamente obedecidos os critérios de geometria, acabamento, volume e taxa de carregamento, descritos nas normas vigentes, de modo a diminuir as possíveis dispersões. É, em certo grau, influenciada também pela porosidade aparente e o teor de água absorvida. Os resultados utilizados neste trabalho foram obtidos em corpos de prova de formato cúbico, com aresta de 75 mm. Para cada amostra considerou-se o resultado médio de, pelo menos, 5 corpos de prova.

3.3 Velocidade de propagação de onda ultrassônica longitudinal

A velocidade de propagação de onda ultrassônica longitudinal é de relativamente fácil determinação, com os equipamentos disponíveis atualmente, e de baixo custo. Foi determinada em corpos de prova com faces planas e lisas e paralelas utilizando-se um aparelho que mede o tempo de propagação de pulso ultrassônico e um paquímetro para medir a distância percorrida pelo pulso. Assim como a resistência à compressão, também é influenciada pela porosidade, e conseqüente grau de absorção de água. Depende

também da composição mineralógica das rochas, uma vez que diferentes minerais apresentam diferentes velocidades de propagação de onda. Em geral, quanto mais denso o material, maior a velocidade de propagação. E, finalmente, quanto maior for a resistência mecânica maior será a coesão e maior será a velocidade de propagação de ondas. Para cada amostra considerou-se o resultado médio de, pelo menos, 5 corpos de prova.

3.4 Módulos de elasticidade estático e dinâmico

O módulo de elasticidade estático, ou módulo de Young, pode ser obtido por meio da mesma técnica usada para a determinação da resistência à compressão uniaxial, desde que sejam obedecidas as mesmas exigências para a determinação desta. Nesse ensaio, porém, mede-se a deformação axial em corpos-de-prova cilíndricos, ou retangulares, com dispositivos especiais. As deformações são mensuradas concomitantemente ao carregamento axial. É um ensaio de relativamente complexa determinação e interpretação, além de ser um

ensaio relativamente demorado e de relativamente alto custo. Os resultados utilizados neste trabalho foram obtidos em corpos de prova prismáticos de base quadrada, com altura entre 2,0 e 2,5 vezes a aresta da base. Para cada amostra considerou-se o resultado médio de, pelo menos, 5 corpos de prova.

O módulo de elasticidade dinâmico, por sua vez, pode ser obtido por meio da velocidade de propagação de onda longitudinal, convenientemente conjugada com a densidade e coeficiente de Poisson.

Os módulos de elasticidade, tanto estático como dinâmico, são úteis para o dimensionamento de elementos estruturais de edificações e também para avaliar as coesão e resistência de maciços ante as sollicitações físicas e mecânicas impostas por uma obra civil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva das propriedades físicas e mecânicas abrangidas neste estudo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis consideradas

Variáveis	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)	Mínimo	Máximo	n
Porosidade aparente, η (%)	0,62	0,32	52	0,03	2,43	404
Compressão uniaxial, σ_c (MPa)	145,1	32,0	22	52,00	236,3	320
Velocidade de propagação de ondas, V_p (m/s)	4.856	708	15	2.140	6.620	284
Módulo de elasticidade estático tangente, E_e (GPa)	46,3	10,0	22	28,3	73,5	57

Percebe-se pela Tabela 1 que a porosidade é o parâmetro que apresenta a maior variação entre o mínimo e o máximo (81 vezes o valor mínimo), bem como o maior coeficiente de variação. Importante salientar que esta variabilidade não é fruto da incerteza do ensaio, mas sim das diferenças reais entre diferentes amostras de rocha.

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva das variáveis utilizadas para o cálculo do coeficiente de proporcionalidade k segundo a equação

$E_e = k \times \sqrt{\sigma_c}$. O cálculo foi efetuado sobre as 57 amostras que tiveram tanto o módulo quanto a resistência à compressão determinados em ensaios.

A Tabela 3 apresenta os resultados da análise de regressão das propriedades estudadas. Foi calculada equações de regressão entre a porosidade e as outras propriedades escolhidas. Constam também dados colhidos da literatura sobre correlações entre algumas importantes propriedades físicas e mecânicas.

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis utilizadas para cálculo do coeficiente de proporcionalidade k.

Propriedades	σ_c	$\sqrt{\sigma_c}$	E_e	k
Média (GPa)	0,15	0,38	46,2	120,81
Desvio padrão (GPa)	0,03	0,05	10,4	26,7
Coeficiente de variação (%)	19,0	9,5	23	22
Quantidade	48	48	48	48
Mínimo	0,10	0,32	28,3	85,5
Máximo	0,21	0,46	73,5	180,0

Tabela 3. Resultados da análise de regressão

Propriedades e relações	Equação de Regressão	R ²	n	Fonte e comentários
$E_e \times \sigma_c$	$E_e = 0,375\sigma_c + 4,4279$	0,82	33	Sachpazis, 1990 – para rochas carbonáticas de Israel
$E_e \times \sigma_c$	$E_e = 0,22\sigma_c + 3,83$	0,92	9	Irfan & Dearman, 1978 - mesmo granito, com diferentes graus de alteração
$n \times \sigma_c$	$n = 0,0003\sigma_c + 0,325$	0,19	41	D'Andrea <i>et al</i> , 1965 <i>Apud</i> Johnson & De Graff, 1988
$\sigma_c \times V_p$	$\sigma_c = 0,039V_p - 48,13$	0,50	36	D'Andrea <i>et al</i> , 1965 <i>Apud</i> Johnson & De Graff, 1988
$n \times V_p$	$n = 0,000019V_p + 0,371$	0,24	51	D'Andrea <i>et al</i> , 1965 <i>Apud</i> Johnson & De Graff, 1988
$\sigma_c \times R_{cp}$	$\sigma_c = 15,296R_{cp} + 16,375$	0,81	50	D'Andrea <i>et al</i> , 1965 <i>Apud</i> Johnson & De Graff, 1988
$V_s \times V_p$	$V_s = 0,400V_p + 682$	0,56	36	Jesch <i>et al</i> , 1979 <i>Apud</i> Johnson & De Graff, 1988
$\sigma_c \times \eta$	$\sigma_c = -47,259\eta + 172,54$	0,20	316	
$V_p \times \eta$	$V_p = -1280,1\eta + 5661,6$	0,34	282	
$E_e \times \eta$	$E_e = -19,673\eta + 58,803$	0,27	57	
$E_{ec} \times \eta$	$E_{ec} = -7,5373\eta + 50,108$	0,20	316	
$V_p \times \sigma_c$	$V_p = 5891,7\sigma_c + 4040,4$	0,06	237	Este trabalho
$E_e \times \sigma_c$	$E_e = 0,121\sigma_c + 28,2$	0,11	48	
$E_e \times V_p$	$E_e = 0,0052V_p + 19,75$	0,19	47	
$E_{ec} \times \sigma_c$	$E_{ec} = 159,69\sigma_c + 22,253$	0,99	318	
$E_{dc} \times V_p$	$E_{dc} = 0,0103V_p + 24,139$	0,96	235	
$E_{ec} \times E_{dc}$	$E_{dc} = 0,3824E_{ec} + 8,567$	0,06	235	

Onde: σ_c = resistência à compressão uniaxial (MPa); n = coeficiente de Poisson; η = porosidade aparente (%); V_p = velocidade de propagação de onda longitudinal (m/s); R_{cp} = resistência à compressão pontual (MPa); E_e = módulo de elasticidade estático tangente (GPa); E_{ec} = módulo de elasticidade estático calculado (GPa); E_{dc} = módulo de elasticidade dinâmico calculado (GPa).

Todas as amostras que apresentaram resultados de resistência à compressão determinadas em ensaio, mas não os de módulo, tiveram o módulo de elasticidade estático calculado (E_{ec}) considerando-se o k como a média dos 57 valores obtidos conforme Tabela 2 (120,81 para tensões em GPa).

As Figuras 1 a 9 apresentam os gráficos mais relevantes, suas equações e coeficientes de determinação R².

O gráfico da Figura 1 mostra claramente a dificuldade em se relacionar a porosidade com a resistência à compressão, embora sejam proprie-

dades notoriamente relacionadas. Vale dizer que a granulometria também influencia fortemente a resistência mecânica das rochas e não é, em princípio, correlacionável à porosidade. Isto, associado à grande variedade de rochas utilizadas, explica a baixa correlação apresentada no gráfico.

A velocidade de propagação, por sua vez (Figura 2) depende fortemente da porosidade, mas sofre grande influência da mineralogia, principalmente pela densidade dos minerais. A variação mineralógica entre as amostras estudadas deve ser a principal causa da baixa correlação apresentada no gráfico.

O módulo de elasticidade estático (Figura 3), determinado com ensaio de compressão, também apresenta baixa correlação com a porosidade.

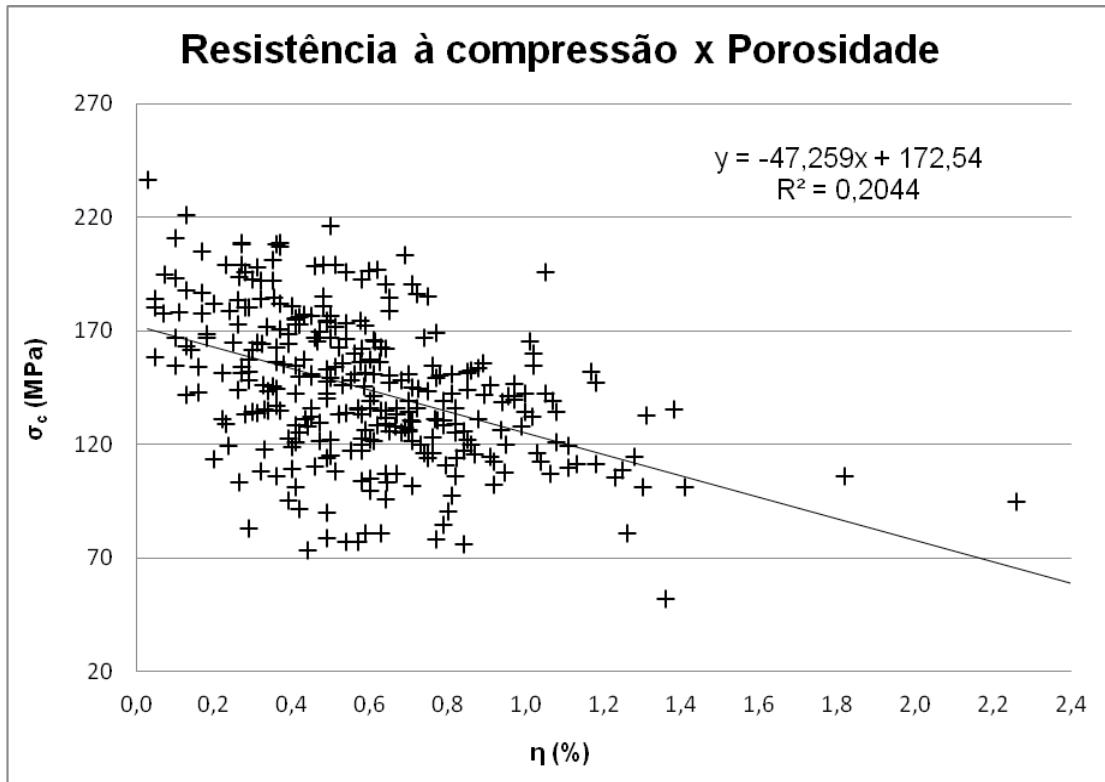


Figura 1. Relação entre resistência à compressão uniaxial (σ_c) e porosidade aparente (η) para 316 amostras.

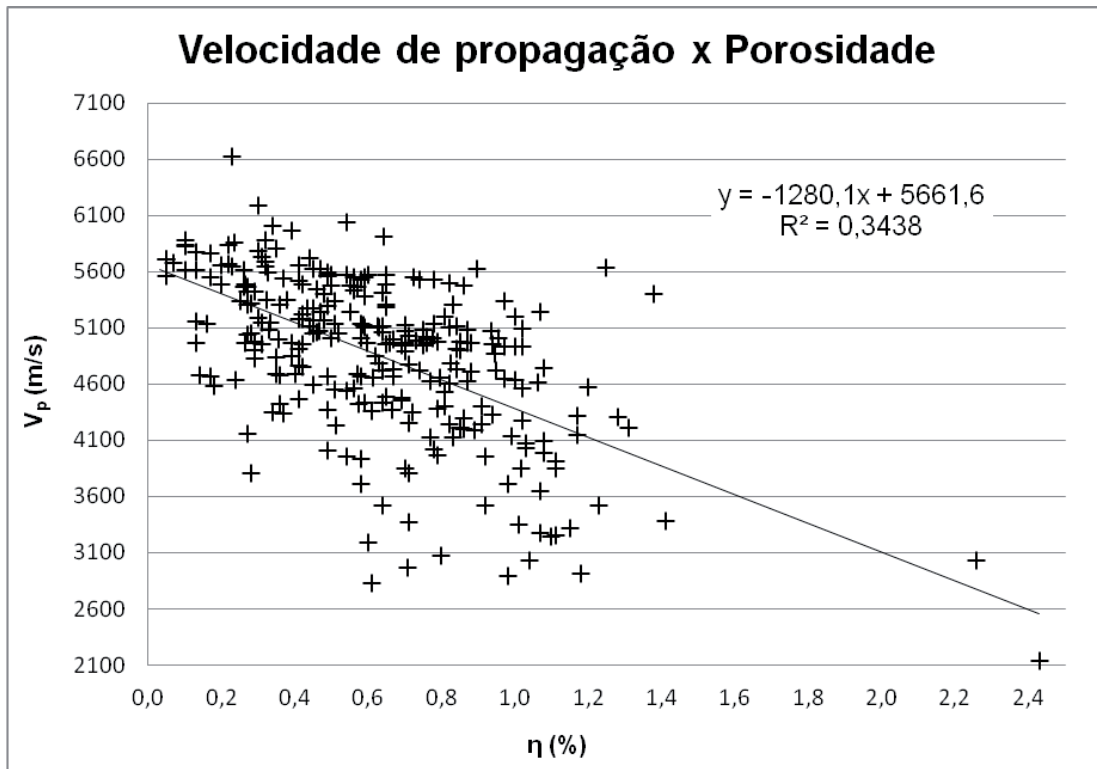


Figura 2. Relação entre velocidade de propagação de onda longitudinal (V_p) e porosidade (η) aparente para 282 amostras.

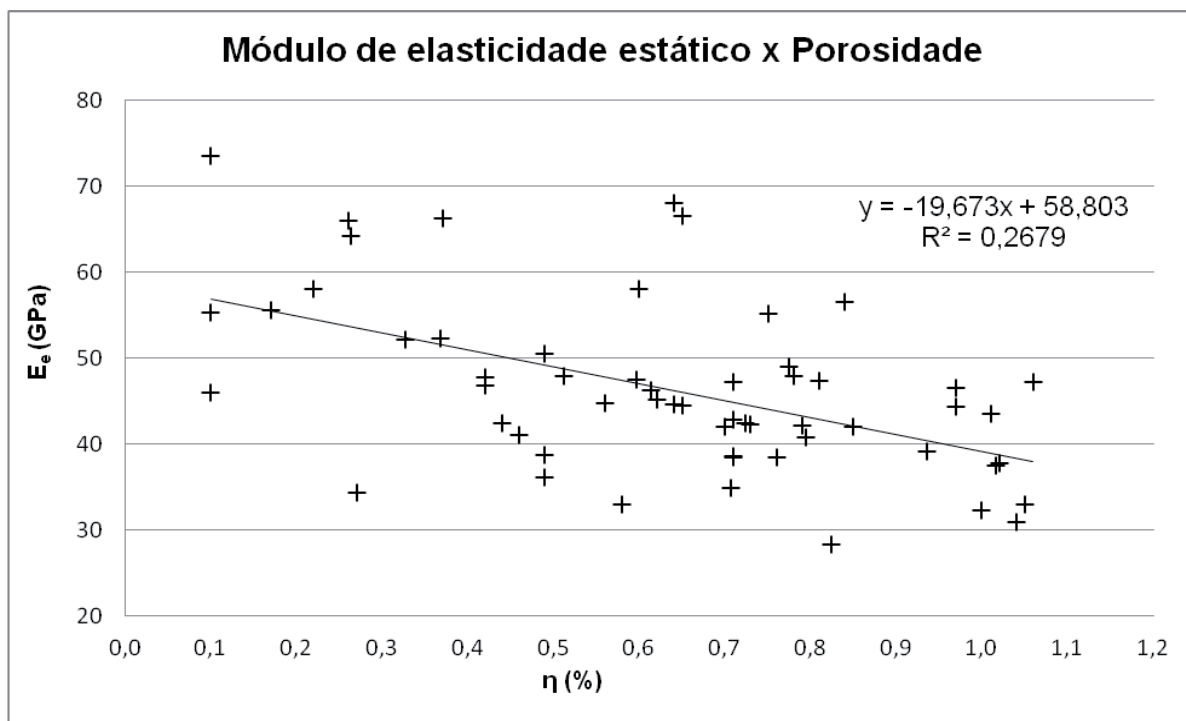


Figura 3. Relação entre porosidade (η) e módulo de elasticidade estático tangente (E_e) obtido de ensaios em 57 amostras.

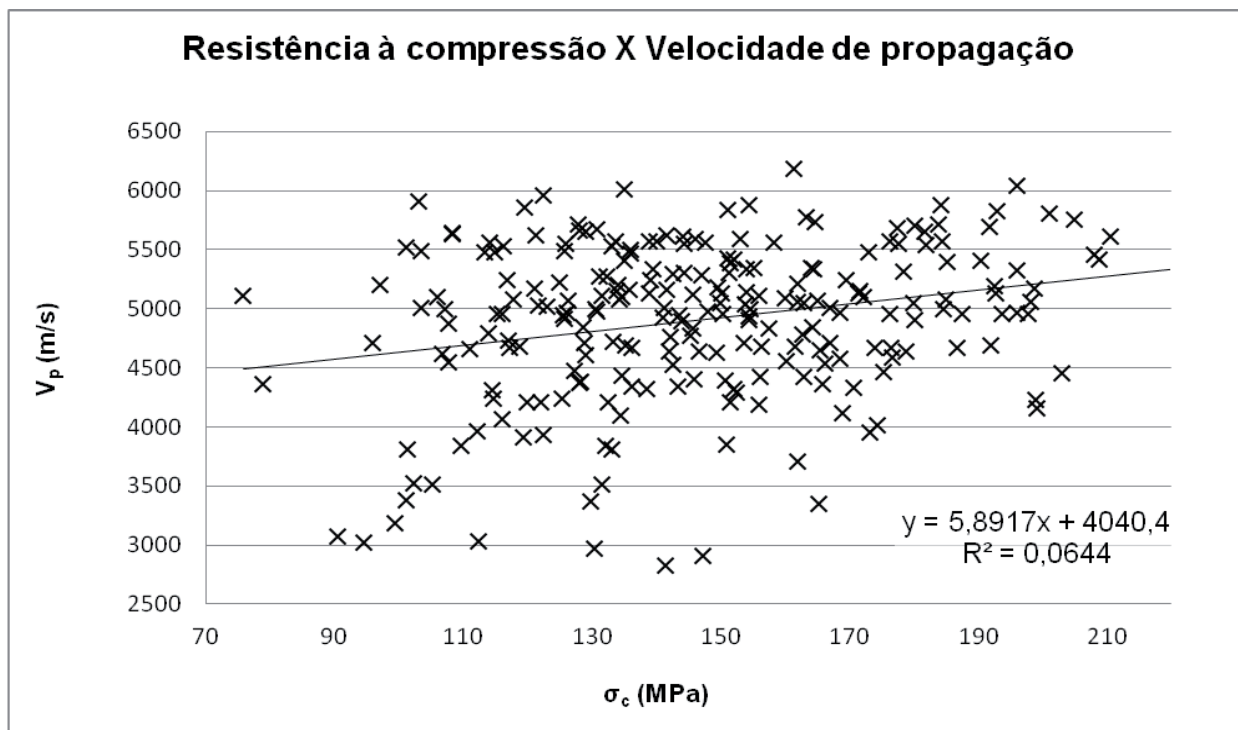


Figura 4. Relação entre resistência à compressão uniaxial (σ_c) e velocidade de propagação de onda longitudinal (V_p) para 237 amostras.

A resistência à compressão uniaxial (σ_c) e a velocidade de propagação de onda ultrassônica longitudinal, V_p (Figura 4) não apresentaram correlação. Embora ambas dependam da porosi-

dade e estado de alteração, dependem também de propriedades independentes entre si, particularmente composição mineral para a V_p e granulação para a σ_c .

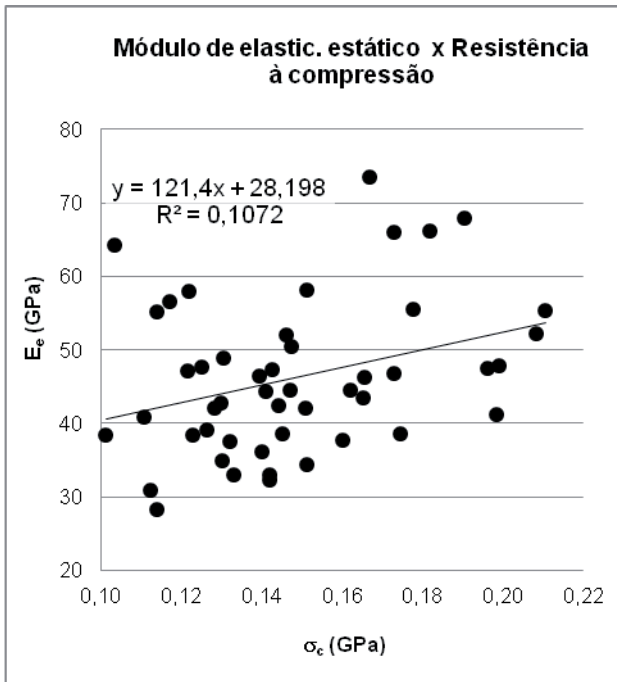


Figura 5. Relação entre resistência à compressão uniaxial (σ_c) e o módulo de elasticidade estático tangente (E_e) obtido a partir de ensaios para 48 amostras.

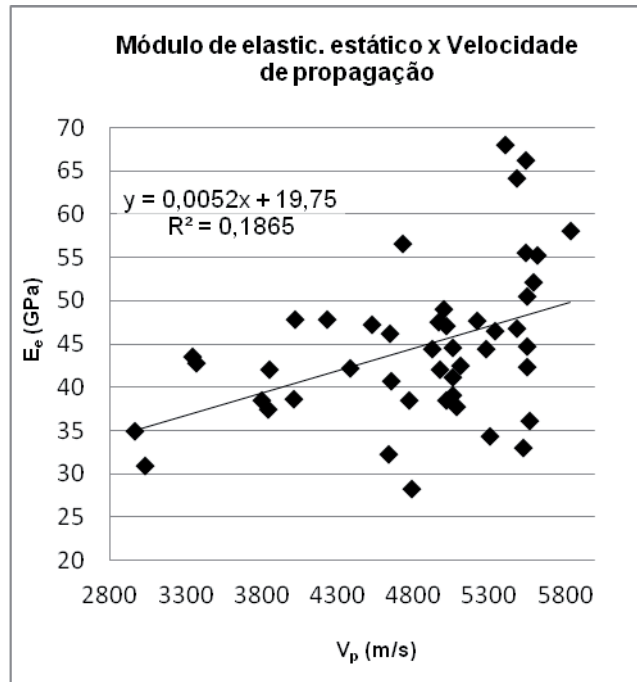


Figura 6. Relação entre módulo de elasticidade estático tangente (E_e) e velocidade de propagação de onda longitudinal (V_p) para 46 amostras.

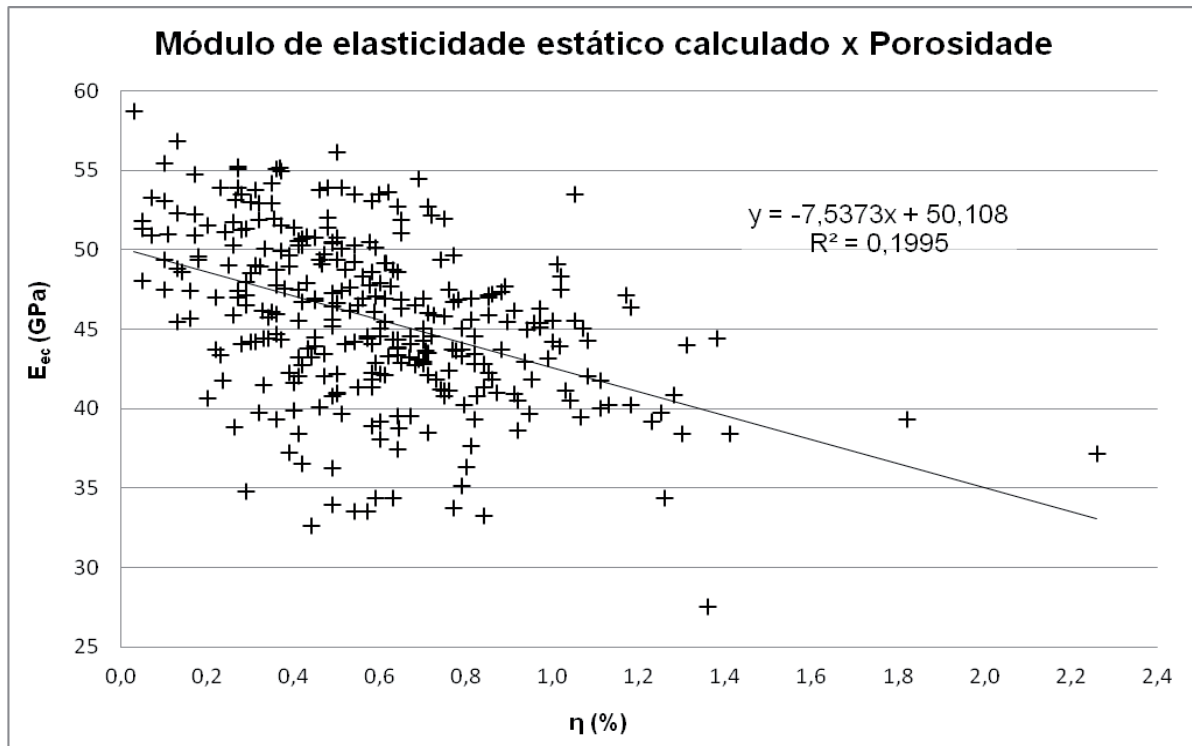


Figura 7. Relação entre módulo de elasticidade estático calculado (E_{ec}) e porosidade (η) para 316 amostras.

Assim como o módulo de elasticidade estático determinado em ensaio, o módulo de elasticidade estático obtido por cálculo (E_{ec}) a partir da

resistência à compressão uniaxial apresentou baixa correlação com a porosidade (Figura 7).

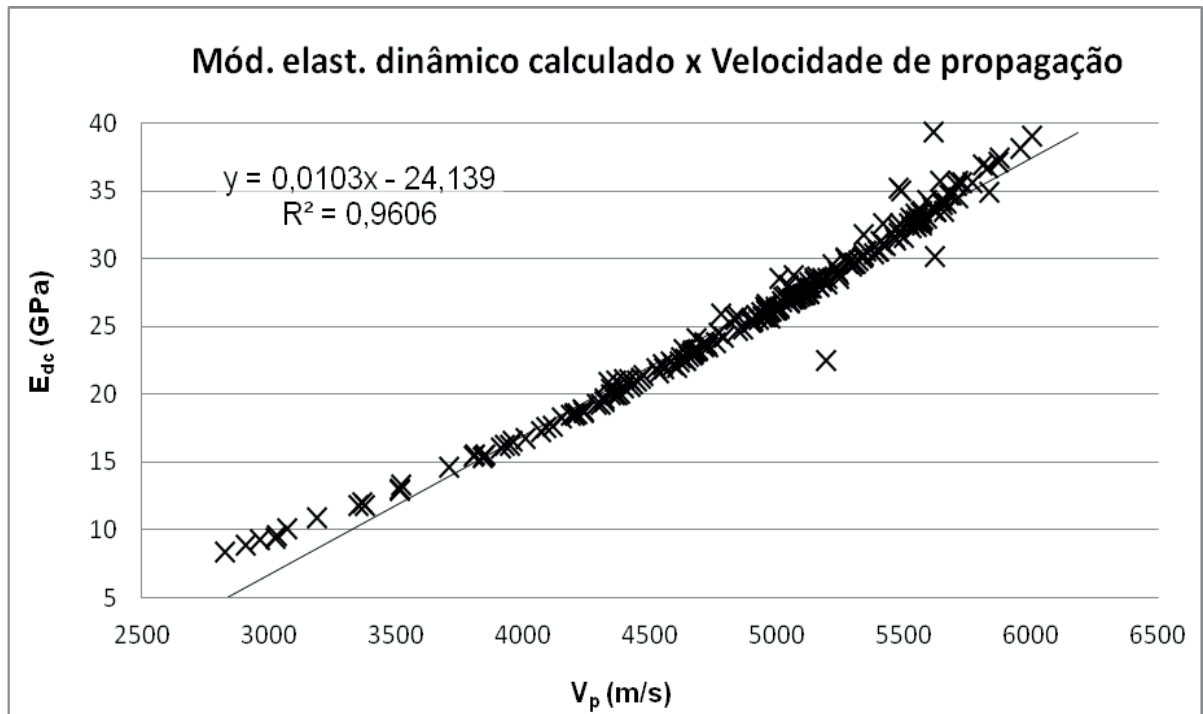


Figura 8. Relação entre módulo de elasticidade dinâmico calculado (E_{dc}) velocidade de propagação de onda longitudinal (V_p) para 235 amostras.

Uma vez que o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico utiliza a velocidade de propagação de onda ultrassônica longitudinal (V_p), a correlação entre as duas propriedades é excelente.

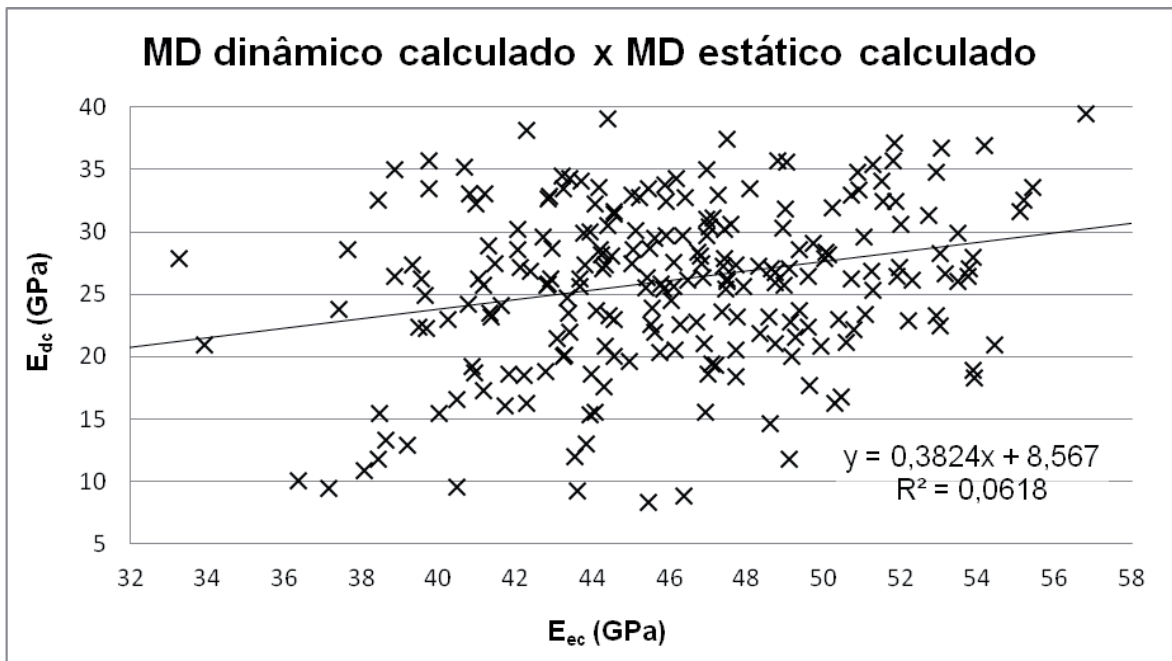


Figura 9. Relação entre módulo de elasticidade estático calculado (E_{ec}) e módulo de elasticidade dinâmico calculado (E_{dc}) para 257 amostras.

Os módulos de elasticidade calculados, estático e dinâmico, não apresentaram correlações. É

provável que a simplificação adotada neste trabalho de utilizar 0,30 como o valor para o coeficiente

de Poisson (ν) de todas as amostras, tenha contribuído para diminuir a correlação.

5 CONCLUSÕES

As propriedades físicas e mecânicas de rochas não guardam na sua maioria boas correlações, como atesta a literatura. Quando boas correlações aparecem, em geral estão associadas a um universo litologicamente e geologicamente restrito e a número limitado de amostras. Vale citar Price (2009): “Existem relações grosseiras entre as várias propriedades comumente medidas em rochas. Assim, rochas de alta resistência à compressão tendem a apresentar maiores módulos e velocidades sônicas enquanto rochas mais porosas e menos densas tendem a ser mais fracas”. Os resultados aqui apresentados concordam com esta afirmação. Price (2009) afirma ainda, que “essas relações são vagas devido à variada mineralogia dessas rochas, mas tornam-se melhor definidas quando rochas quase monominerálicas são estudadas”.

Por outro lado, Palchik (2010), após estudar 68 diferentes rochas carbonáticas de Israel não encontrou correlações empíricas razoáveis entre módulo de elasticidade e resistência à compressão. Ainda para demonstrar a falta de consenso quanto à qualidade destas correlações, Sachpazis (1990) obteve $R^2 = 0,82$ em equação linear entre módulo de elasticidade estático e resistência à compressão.

Apesar do grande número de amostras estudadas, os coeficientes de determinação obtidos indicam que não é recomendado determinar as propriedades das rochas por equações. Porém, em situações nas quais é suficiente o conhecimento apenas da ordem de grandeza da propriedade e existem impeditivos para a realização de ensaios, as equações aqui apresentadas podem ser utilizadas como alternativa.

Neste particular, deve-se dar atenção para a possibilidade de se utilizar a equação $E_c = 121\sqrt{\sigma_c}$ para estimar o módulo de elasticidade estático (obtido por ensaio relativamente complexo e demorado) a partir de valores de resistência à compressão uniaxial (obtida de ensaio relativamente simples e rápido).

REFERÊNCIAS

- Aufmuth, R.E. 1974. Site engineering indexing of rock. In: **ASTM STP554 - Field testing and instrumentation of rock**, p.81-99.
- Frazão, E.B. & Farjallat, J.E.S. 1995. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: Congresso Internacional da Pedra Natural, 1, **Anais**, p.48-62.
- Frazão, E.B. & Farjallat, J.E.S. 1996. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: ABGE, Cong. Bras. de Geol. Eng., 8, **Anais**, 1, p.369-380.
- Frazão, E.B., Dozzi, L.S., Queiroz, F.C. de. 2013. Características tecnológicas de rochas brasileiras usadas como revestimento. In: ABGE. Cong. Bras. Geol. Eng. Amb., 14, **Anais** (CD).
- Irfan T.Y. & Dearman, W.R. 1978. Engineering classification and index properties of a weathered granite. **Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.**, 17: 79-90.
- Johnson, R.B., de Graff, J.V. 1988. **Principles of engineering geology**. Wiley & Sons, New York, 497p.
- Palchik, V. 2010. On the ratios between elastic modulus and uniaxial compressive strength of heterogeneous carbonate rocks. **Rock Mech Rock Eng.** 44:121-128.
- Price, D.G. 2009. **Engineering Geology - Principles and practice**. Edited and Compiled by Freitas, M.H.. 2009. Springer-Verlag. ISBN: 978-3-540-29249-4. Berlin Heidelberg, 450p.
- Sachpazis, C.I. 1990. Correlating Schmidt hardness with compressive strength and Young's module of carbonate rocks. **Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.**, 42: 75-83.
- Siegesmund, S. & Durrast, H. 2011. Physical and mechanical properties of rocks. In: S. Siegesmund & R. Snethlage (eds.) **Stone in Architecture**. 4 ed. Springer, p.: 97-225. ISBN 978-3-642-14474-5. 522p. Berlin.

DIRETRIZES PARA AUTORES

PREPARAÇÃO PARA SUBMISSÃO

Tipo e Tamanho de Arquivo: O texto do manuscrito deverá ser enviado em **arquivo Word** (.doc), **em separado**, com os locais de inserção das figuras assinalados, seguido das respectivas legendas. As **ilustrações** deverão ser enviadas em **arquivo .tif**, também **em separado** (uma ilustração por arquivo). O mesmo procedimento deverá ser adotado para as **tabelas**, em arquivo. doc.

O artigo não poderá ultrapassar a **10.000** palavras ou **20 páginas**, incluindo título, autores, instituições e e-mail, resumo e palavras-chave, abstract e keywords, texto, figuras, tabelas, mapas, referências e legendas.

Nenhum **arquivo** poderá ultrapassar a **10Mb** de tamanho.

Forma de envio: O texto deverá ser enviado junto com as **ilustrações** (inclusive tabelas) no Sistema Eletrônico de submissão (ver passos práticos para envio de manuscritos na página da RBGEA, no ítem “Instruções para envio de artigos”).

ARTIGOS

Organização de artigos: deverá constar em sequência, o título, nome completo do(s) autor(es), instituição e e-mail (nome da instituição, cidade, estado, país e e-mail. Para alunos de mestrado ou doutorado, indicar “Programa de Pós-graduação”, instituição, e demais informações acima), resumo e palavras-chave, abstract e keywords, texto completo, referências, ilustrações e tabelas. O texto deve conter, preferencialmente: introdução, materiais e métodos, resultados, discussão, conclusões e agradecimentos.

Hierarquização dos títulos e subtítulos: Deve seguir o padrão:

Nível 1 - EM **NEGRITO**, TODAS AS LETRAS MAIÚSCULAS.

Nível 2 - Em **negrito**; a primeira letra da primeira palavra em maiúscula e as demais minúsculas.

Nível 3 - **ITÁLICO**, NÃO **NEGRITO**, TODAS AS LETRAS MAIÚSCULAS.

Nível 4 - **Itálico**, não **negrito**; a primeira letra da primeira palavra em maiúscula e as demais minúsculas.

Agradecimentos - **Negrito e itálico** (apenas o subtítulo). **Referências - Negritas e minúsculas** (apenas o subtítulo).

Manter um espaço simples entre itens e subitens do texto. Utilizar fonte Times New Roman, tamanho 11.

A indicação da inserção das ilustrações (figuras, tabelas, etc) no texto deverá ser em posição o mais próximo possível de sua primeira citação.

Formato do Resumo, Resúmen e o Abstract: Não poderão exceder 300 palavras cada, em parágrafo único, fonte Times New Roman, corpo 10, espaço simples (1,0) e serem seguidos de palavras-chaves, palabras claves e keywords (no mínimo 3 e máximo 5), respectivamente. Artigos em português, espanhol ou francês deverão ter o título vertido para o idioma inglês, em **MAIÚSCULO E ITÁLICO**, colocado após a palavra Abstract.

Formato do texto: Editar o texto em Word, fonte Times New Roman, corpo 11, espaço simples, papel A4, orientação em retrato e editado em apenas uma coluna. As margens deverão ter as seguintes medidas: superior: 2,0; inferior 2,0; esquerda 3,0 e direita 2,0. Digitar as tabelas em documentos word.

Abreviações: Devem ser evitadas ou mantidas ao mínimo. Se usadas, devem ser definidas na primeira vez que forem mencionadas e não devem ser utilizadas no título, resumo e abstract.

Ilustrações: A versão impressa da RBG publica ilustrações em preto e branco e tons de cinza. A versão “on line” publicações coloridas. As fontes usadas para textos sobre fotografias deve ser uma da família da Helvética.

As ilustrações gráficas, fotográficas e fotomicrográficas serão numeradas sequencialmente, na ordem de sua citação no texto e consideradas, mesmo pranchas, indiscriminadamente como Figuras. Deverão ser separadas do texto por uma linha. Não serão aceitos encartes. Fotografias de afloramentos deverão apresentar barra de escala e indicação do norte.

Letreiros e símbolos das ilustrações devem ter dimensões adequadas para permitir legibilidade. **As ilustrações** deverão ter **larguras** mínimas de **9** ou **18** centímetros (permitir diagramação em uma ou duas colunas). Explicar todos os símbolos. Escalas gráficas, se necessárias, devem ser colocadas dentro da área das ilustrações.

As **Tabelas** devem ser auto-explicativas, com as laterais abertas, concisas e numeradas seqüencialmente. Devem ser elaboradas em Times New Roman, corpo 9. As legendas das ilustrações deverão ser redigidas com a mesma fonte do texto e corpo.

Formato das Figuras: Só serão aceitas figuras .tif, devendo ter **resolução mínima de 300dpi**, com tamanhos largura de 8,7 cm ou de 17,7, com comprimento máximo de 21 cm.

Fórmulas e Equações: Numerar as fórmulas e equações seqüencialmente à direita, com números arábicos entre parênteses e, no texto, referir como “equação (1)”, etc.

Citações no corpo do texto: Deve-se seguir os formatos do seguinte exemplo: ...”Cunha (1985) interpreta a feição como uma estrutura de resfriamento magmático precoce, mas outros (Lima 1986, Fonseca *et al.* 1989, Ferreira & Araújo 1994) como uma feição tardia”.

Referências: Relatórios internos são serão aceitos nas referências, com excessão daqueles que são amplamente difundidos na comunidade científica e autorizados pelos consultores **ad hoc**. As referências deverão ser feitas em Times New Roman, corpo 10. Ao final do texto, ordenar as referências em ordem alfabética do sobrenome do primeiro autor, empregando os seguintes formatos:

LIVROS:

Arndt N.T. & Nisbet E.G. (Eds.) 1982. **Komatiites**. George Allen & Unwin, London, 526 pp.

CAPÍTULOS DE LIVROS:

Pollack H.N. 1997. Thermal characteristics of the Archean. **In:** M. de Wit & L.D. Ashwal (eds.) **Greenstone belts**. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, 25, Oxford University Press, p.: 223-232.

ARTIGOS DE PERIÓDICOS:

Resende M.G. & Jost H. 1995. Petrogênese de formações ferríferas e metahidrotermalitos da Formação Aimbé, Grupo Guarinos (Arqueano), Goiás. **Rev.Bras. Geoc.**, 25:41-50.

Resende M.G., Jost H., Osborne G.A., Mol A. 1998. The stratigraphy of the Goiás and Faina greenstone belts, Central Brazil: a new proposal. **Rev. Bras. Geoc.**, 28:1-15.

Sabóia L. A. 1979. Os **greenstone belts** de Crixás e Goiás, Go. **In:** SBG, Núcleo Centro-Oeste, **Boletim Informativo**, 9:44-72.

ARTIGOS EM PUBLICAÇÕES SERIADAS:

Barbosa O., Braun O.P.G., Dyer R.C., Cunha C.A.B.R. 1970. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM, Boletim 136, 140 p.

TESES E DISSERTAÇÕES:

Resende L. 1995. Estratigrafia, petrografia e geoquímica da seqüência sedimentar do greenstone Belt de Pilar de Goiás, GO. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 124 p.

ARTIGOS PUBLICADOS EM EVENTOS:

Tassinari C.C.G., Siga Jr. O, Teixeira W. 1981. Panorama geocronológico do centro-oeste brasileiro: solução, problemática e sugestões. **In:** SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste,1, **Atas**, p. 175.

ARTIGOS EM JORNAL:

Coutinho W.O. 1985. O Paço da cidade retorna ao seu brilho barroco. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 6 mar. Caderno B, p.6.

ARTIGOS AINDA NÃO PUBLICADOS:

Silva R.C. (em preparação). Tectônica na região do Alto Iguaçu-PR. Pereira E.W. (submetido). Evolução geológica da faixa de dobramentos Açungui. *Revista Brasileira de Geociências*. Silva R.C. (no prelo). Tectônica na região do Alto Iguaçu-PR. *Revista Brasileira de Geociências* (Aceito ainda sem data de publicação).

FOTOGRAFIAS AÉREAS:

IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO 1986. (São Paulo). Projeto Lins Tupã. Foto aérea. Escala 1:25.000, São Paulo, Fx28, n. 15.

FOLHAS E MAPAS IMPRESSOS:

INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS 1987. São José dos Campos (SP): atualização do uso da terra. SF-23-Y-D-II-1 MI-2769/1. São José dos Campos, Mapa Topográfico, escala 1:100.000. Silva A.J. 1999. Mapa geológico da Bacia de Campos. Rio de Janeiro, Petrobrás, 1 mapa geológico, escala 1:50.000.

SÓCIOS PATROCINADORES DA ABGE

