

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA

Caracterização das propriedades mecânicas do material rochoso da pedreira  
de EMBU - SP

Guilherme Piasentin Vertamatti

São Paulo,

2009

EPMI  
TF-2009  
V616c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA

Caracterização das propriedades mecânicas do material rochoso da pedreira  
de EMBU - SP

Trabalho de Formatura do programa de graduação  
em Engenharia de Minas da Escola Politécnica

Área de Concentração: Mecânica de Rochas

Orientado: Guilherme Piasentin Vertamatti  
Orientador: Profº Drº Lineu Azuaga Ayres da Silva

São Paulo,

2009

## FICHA CATALOGRÁFICA

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL  
DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU  
ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA  
A FONTE.

Vertamatti, Guilherme Piasentin  
Caracterização das propriedades mecânicas do material rochoso da  
pedreira de EMBU - SP. São Paulo, 2009.  
Trabalho de Formatura, apresentada à Escola Politécnica/USP –  
Área de concentração:  
Mecânica de rochas.  
Orientador: Ayres da Silva, Lineu Azuaga  
1. Material rochoso. 2. Propriedades mecânicas. 3. EMBU.

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Guilherme Piasentin Vertamatti

Caracterização das propriedades mecânicas do material rochoso da pedreira de EMBU - SP

Trabalho de Formatura no Programa de Graduação em  
Engenharia de Minas da Escola Politécnica

Área de Concentração: Mecânica de rochas.

Orientador: Prof. Dr. Lineu Azuaga Ayres da Silva  
Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

TF-2009

V616c

Syntex 1826444

M2009h

**DEDALUS - Acervo - EP-EPMI**



31700005909

Dedico esse trabalho à minha família, devido ao grande apoio, amor, e imensa paciência durante todo o meu longo caminho de aprendizado e desenvolvimento.

Agradeço ao meu orientador Prof. Lineu por todos os ensinamentos que recebi durante o ano. Também ao técnico Jorge Sakamoto em conjunto com meu grande amigo e colega Adriano Morgado pela grande ajuda com meus experimentos. Estendo ao Prof. Sansone esses agradecimentos por sua orientação e apoio nos ensaios realizados no laboratório de mecânica de rochas.

Agradeço também a minha família, em especial meu pai, grande mestre e tutor, que nunca me deixou esquecer quem eu sou.

# **Caracterização das propriedades mecânicas do material rochoso da pedreira de Embu - SP**

Guilherme P. Vertamatti  
[guilherme.vertamatti@gmail.com](mailto:guilherme.vertamatti@gmail.com)

## **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo apresentar a caracterização mecânica básica de uma amostra do material rochoso – gnaisse – predominante na pedreira de Embu, localizada em São Paulo. Tendo em vista que a maioria das empresas mineradoras trabalha com apenas um subgrupo dos ensaios básicos necessários para tal caracterização, definindo a partir deste todos os seus outros parâmetros de engenharia necessários, empregou-se o seguinte conjunto mínimo de ensaios capazes de estabelecer as propriedades básicas do material rochoso em questão: esclerometria, compressão uniaxial, *point load test* (ensaio de compressão pontual), tração indireta (ensaio brasileiro) e cisalhamento direto. Como resultados do trabalho foram definidas as propriedades básicas da amostra, a partir das quais foi possível construir-se o círculo de Mohr representativo do comportamento da rocha considerado no estado duplo de tensões.

**PALAVRAS CHAVE:** material rochoso; gnaisse; propriedades mecânicas; Círculo de Mohr.

## **ABSTRACT**

This work has as objective to present the basic mechanical characterization of a sample of the rock material – the gnaisse – from the Embu mining in Sao Paulo. Due to the fact that the most of mining industries works only with a subgroup of the basic tests necessary for the characterization, defining from it all the others necessary engineering parameters, the following minimum group of tests able to establish the basic properties of the rock material in treatment: sclerometrie, uniaxial compressive strength, point load test, indirect tensile strength (Brazilian Test) and direct shear strength. As results of the work the basic properties of material were defined, from which the Mohr Circles was constructed.

**KEY-WORDS:** rocky material; gneiss; mechanical properties; Mohr Circle.

## Conteúdo

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. OBJETIVO .....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	9
4. METODOLOGIA .....	9
Preparação das Amostras .....	9
Esclerômetro Schmidt .....	9
Compressão Uniaxial .....	11
<i>Point Load Test</i> .....	12
Tração Indireta (Ensaio Brasileiro ou Método Lobo Carneiro) .....	14
Cisalhamento Direto .....	15
5. RESULTADOS .....	17
Caracterização do Material .....	17
Esclerômetro Schmidt .....	19
Compressão Uniaxial .....	19
<i>Point Load Test</i> .....	19
Ensaio Brasileiro (Tração Indireta) .....	20
Cisalhamento Direto .....	20
6. CONCLUSÕES .....	20
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	21

## **1. INTRODUÇÃO**

A adequada caracterização das propriedades mecânicas de materiais rochosos tem sido prática pouco executada na área de mineração devido às dificuldades encontradas para se fazer, em laboratório, todos os ensaios necessários. Tais dificuldades são causadas em parte pela distância de localização das minas em relação aos grandes centros de pesquisa.

Desde os tempos mais antigos, nos momentos de se lidar com rochas eram usadas técnicas e experiências dominadas e passadas de uma geração para a outra. Numa evolução natural, essas técnicas foram sendo aperfeiçoadas, de forma que progressivamente em seu desenvolvimento a mineração deixou, cada vez mais, de ser a arte mineira, colecionando um conjunto de técnicas que, baseadas em constatações científicas, se consagraram como engenharia. Fundamentando-se nos resultados de ensaios, foram desenvolvidos modelos constitutivos, que levaram os trabalhos mineiros a serem feitos de maneira mais adequada e menos empírica.

Caso fosse feita de maneira mais completa e abrangente para cada situação, a caracterização total dos materiais poderia ser muito utilizada na elaboração de projetos de lavra e desmonte de rochas, tornando-se uma peça chave para o bom sucesso da empreitada.

## **2. OBJETIVO**

Esse trabalho tem como objetivo realizar o mínimo dos ensaios desejados para uma caracterização significativa de uma amostra de material rochoso. Para tanto, foi selecionada e coletada uma amostra de gnaisse da pedreira de Embu – SP.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica feita foi em relação à metodologia de cada ensaio e será abordada nos próximos itens. Bibliografias referentes à correlação entre as propriedades mecânicas e a interpretação dos dados também serão mais convenientemente abordada no momento em que for referenciada, atingindo um maior nível de embasamento científico do trabalho.

## **4. METODOLOGIA**

### **Preparação das Amostras**

As amostras foram retiradas de blocos recolhidos após um desmonte da pedreira, selecionados para propiciar material suficiente para retirada de corpos de provas de tamanho adequado, e com a menor quantidade possível de descontinuidades não naturais à rocha, geradas pela onda de choque do desmonte. As amostras cilíndricas foram retiradas com dimensões NX (54mm) e cortadas com serra circular. A forma das amostras será definida na metodologia de cada ensaio. Para a análise química a amostra foi pulverizada e em seguida foram moldadas as pastilhas necessárias.

### **Esclerômetro Schmidt**

Esse método de determinação da Dureza de uma rocha não é recomendado para rochas muito duras ou muito moles. No caso do gnaisse tal restrição não se aplica.

O Esclerômetro Schmidt usado no ensaio, também chamado de martelo, é do tipo manual (vide Figura1) e pode ser levado para ensaios *in-situ* ou ser aplicado em blocos grandes (desde que significantemente estáveis) que representem o maciço em questão. Antes de qualquer ensaio deve ser feita a devida calibração do equipamento, sendo que cada empresa fabricante do martelo tem seu método particular de calibrá-lo.

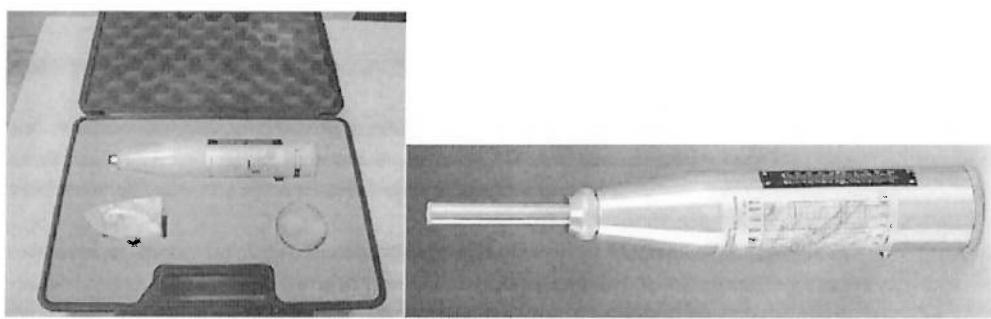


Figura 1 - Esclerômetro Schmidt do LMR

A ponta do martelo deve ser apoiada na superfície da rocha e empurrada para dentro do corpo do martelo, pressionando este contra a rocha. A energia é estocada numa mola que se libera automaticamente quando atinge um certo pico de energia e impacta uma massa contra a ponta do martelo (vide Figura 2). A amplitude do retorno da ponta é medida em uma escala no corpo do martelo e é correlacionada com curvas de dureza (vide Figura 3) que vem com o equipamento para se obter a resistência desejada.

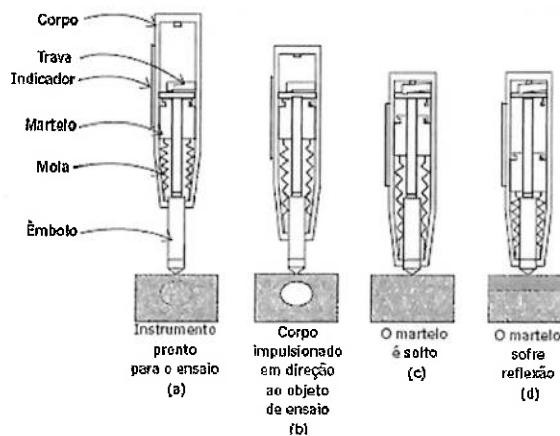


Figura 2 - Modelo do funcionamento do esclerômetro

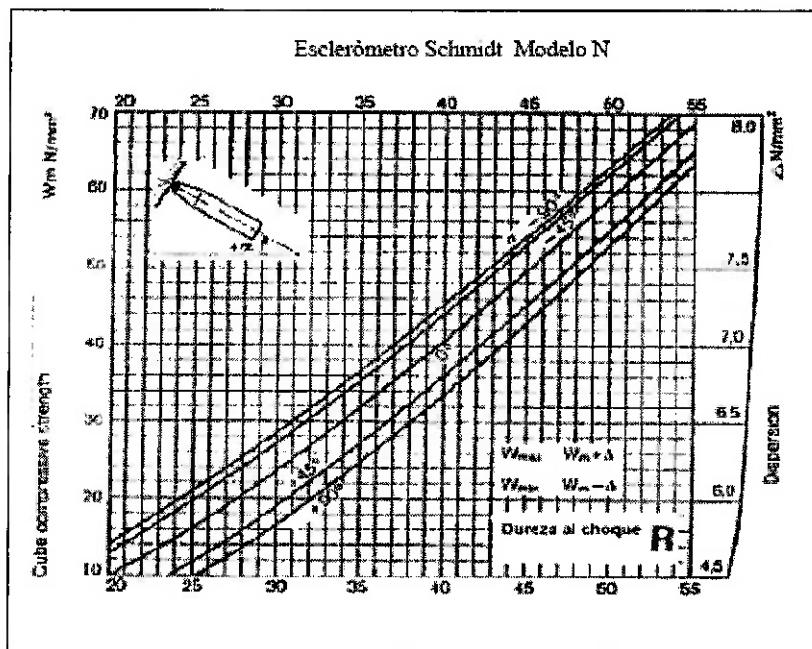


Figura 3 - Curvas de dureza em função da inclinação do martelo

A superfície em que será feito o experimento deve ser a mais plana e lisa possível e até uma profundidade média de 6 cm a amostra deve ser livre de descontinuidades.

Para que o resultado seja confiável, é recomendado que o ensaio seja feito na posição vertical ou horizontal, sendo que no caso de impossibilidade de uso nessas condições, o resultado deve ser convertido para uma das duas direções. Pelo menos 20 ensaios devem ser feitos por amostra e quaisquer resultados que resultem na ruptura da superfície durante o ensaio devem ser descartados.

Os resultados devem ser ordenados em ordem decrescente. A seguir, os 50% mais baixos devem ser descartados e a média dos 50% maiores será o resultado final para aquela amostra. Caso um fator de correção seja necessário devido à calibração do equipamento, ele deve ser aplicado à média encontrada para aquela amostra.

### Compressão Uniaxial

Esse ensaio busca definir a resistência à compressão uniaxial de uma rocha intacta. Os corpos de prova utilizados são cilíndricos (vide Figura 4), do tamanho NX e com 13 cm de comprimento, sendo retirados dos blocos e cortados para que apresentem faces paralelas. Sua superfície deve ser lisa e livre da presença de irregularidades abruptas e a compressão deve ser feita no sentido do eixo do cilindro. Deve ser respeitada uma estocagem do material não maior do que 30 dias para que este não perca suas propriedades naturais devido, principalmente, à umidade da amostra.



Figura 4 - Corpo de prova cilíndrico

A prensa utilizada (vide Figura 5) deve garantir uma aplicação de força com um gradiente constante e intensidade suficiente para que o corpo de prova seja rompido. As medidas devem ser feitas em intervalos regulares de acordo com as normas da ASTM. O equipamento deve conter duas bases paralelas com diâmetro pelo menos 1cm ou 2cm maiores do que o diâmetro do corpo de prova, sendo que a base superior é removível e apoiada num acento esférico enquanto que a base inferior é fixa. Ambas devem estar levemente lubrificadas com óleo mineral no momento do ensaio para que o copo de prova fique bem acomodado.

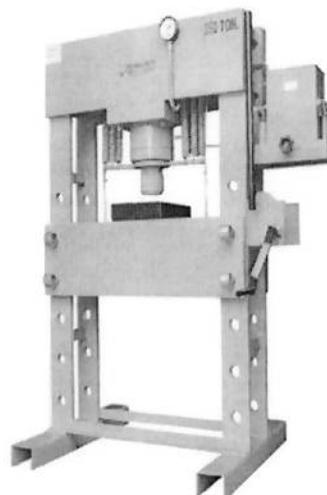


Figura 5 - Prensa para ensaio

A pressão deve, como definido acima, ser aplicada com um gradiente constante e intensidade suficiente para que a ruptura ocorra entre 5min e 10min de aplicação. A intensidade máxima obtida deve ser registrada em Newton (N) e a quantidade de corpos de prova testados deve ser representativa (no mínimo 5).

A medida de resistência à compressão uniaxial é o resultado da máxima carga aplicada no corpo de prova dividida pela área da seção do cilindro original. Em seguida, a média das resistências obtidas será a resistência do material, dada em Pascal (Pa).

### ***Point Load Test***

O *Point Load Test* (PLT) é um método aceitável na mecânica de rochas para se determinar um parâmetro de resistência da rocha que pode ser utilizado para estimar outras propriedades, tal como a resistência à compressão uniaxial.

O PLT se mostrou uma boa alternativa para o ensaio de compressão uniaxial por prover dados similares a outros testes, porém a custos mais baixos, e já tem sido utilizado na análise geotécnica a mais de 30 anos. Um fator de conversão tem sido estudado ao longo dos anos para relacionar o resultado do PLT com o de compressão uniaxial. No início, os estudos realizados por Bieniawski, (1975) e Broch & Frankling, (1972) foram feitos em rochas duras e resistentes, encontrando-se uma relação entre os dois ensaios de 1 para 24, ou seja, o resultado da compressão uniaxial era 24 vezes maior do que aquele encontrado no PLT. Estudos subsequentes mostraram que esse fator 24 vezes não era tão geral quanto se esperava, mas sim que existia uma ampla faixa de correlação, sendo que grande parte das estimativas geraram uma nova faixa entre 16 e 25 para esse mesmo fator, o qual é ainda mais baixo para rochas mais frágeis tais como argilitos.

O PLT é feito comprimindo-se uma amostra de rocha entre duas ponteiras cônicas de aço até que ocorra a fratura. O equipamento para tal teste se compõe de uma estrutura rígida, duas ponteiras cônicas, um equipamento hidráulico para realizar a compressão da amostra e finalmente medidores para determinar a força aplicada (vide Figura 6).

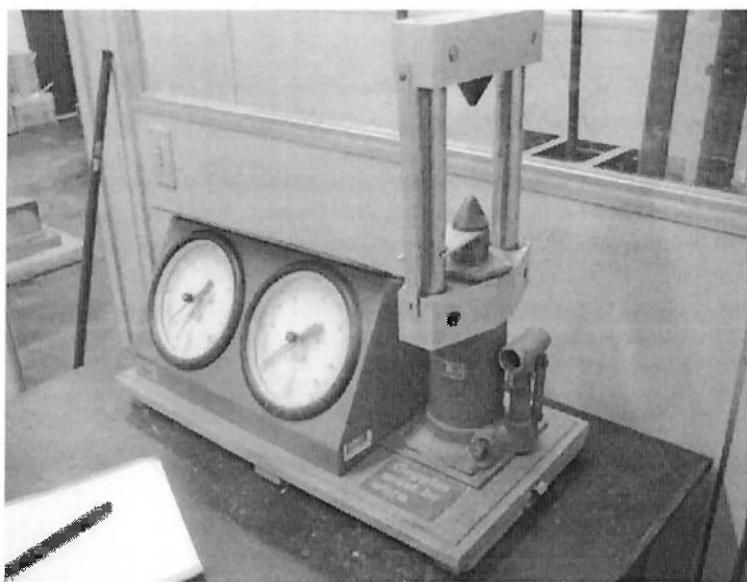


Figura 6 - Equipamento para realizar PLT do LMR

Existem três formas básicas de se realizar esse teste: uma com um corpo de prova cilíndrico, mas de modo axial ou diametral, e a terceira com um pequeno bloco de rocha. No presente estudo, foi selecionada a forma diametral devido à maior precisão das medidas da forma do corpo de prova. A amostra é então colocada entre os cones, com a direção de seu eixo perpendicular ao eixo dos cones (vide Figura 7).

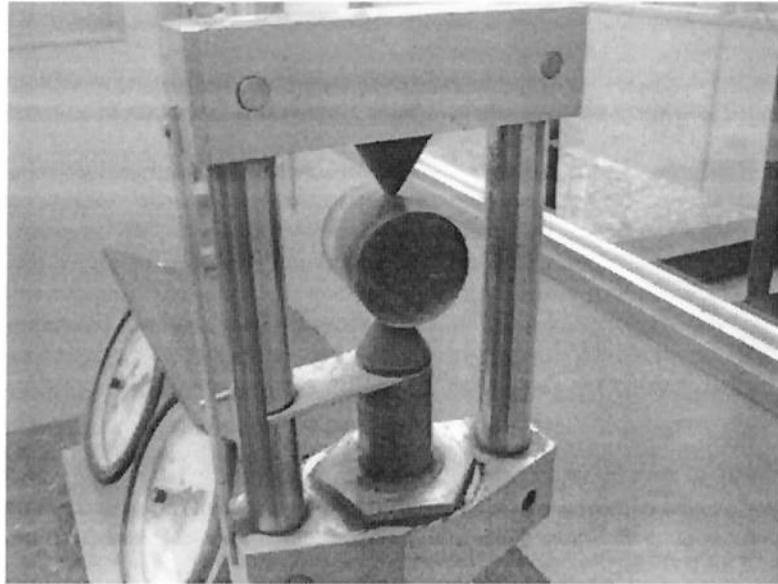


Figura 7 - Posicionamento do corpo de prova

Em seguida, a carga é aplicada no corpo de prova até que ocorra a sua ruptura. Como o corpo de prova utilizado é de diâmetro NX, uma correção em relação ao seu formato não é necessária. O índice de resistência à compressão pontual é determinado pela equação abaixo:

$$Is_{50} = \frac{P}{De^2} \quad (1)$$

sendo  $Is_{50}$  o índice de resistência à compressão pontual em MPa,  $P$  a carga no momento da ruptura em MN e  $De$  o diâmetro médio do corpo de prova em metros. A Figura 8 ilustra corpos de prova após a ruptura.

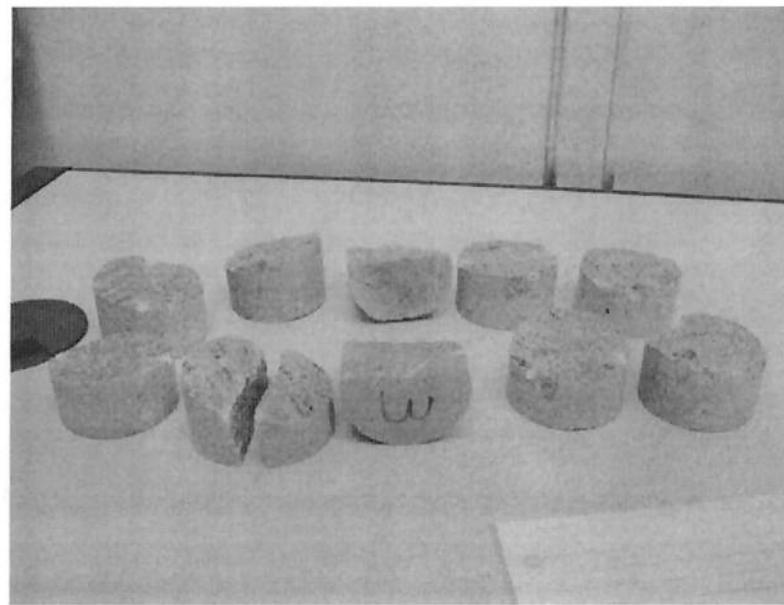


Figura 8 - Corpos de prova após a ruptura

### Tração Indireta (Ensaio Brasileiro ou Método Lobo Carneiro)

Esse ensaio visa medir a resistência à tração de uma amostra, obtida de modo indireto pelo Ensaio Brasileiro. O ensaio se justifica pelo fato de que, uma vez submetida a uma tensão bi-axial, a resistência da rocha à tração é sempre menor que aquela à compressão nos casos em que a última não ultrapasse três vezes a intensidade da primeira.

Uma amostra de rocha na forma de um disco é posicionada entre duas mandíbulas que serão pressionadas contra a amostra por uma prensa pontual. A Figura 9 ilustra o equipamento para o Ensaio Brasileiro e a Figura 10 mostra corpos de prova rompidos por este método.

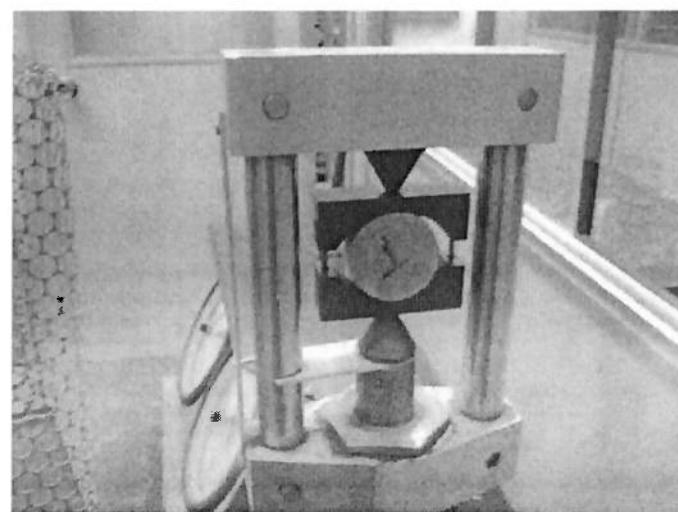


Figura 9 - Equipamento para o ensaio brasileiro do LMR

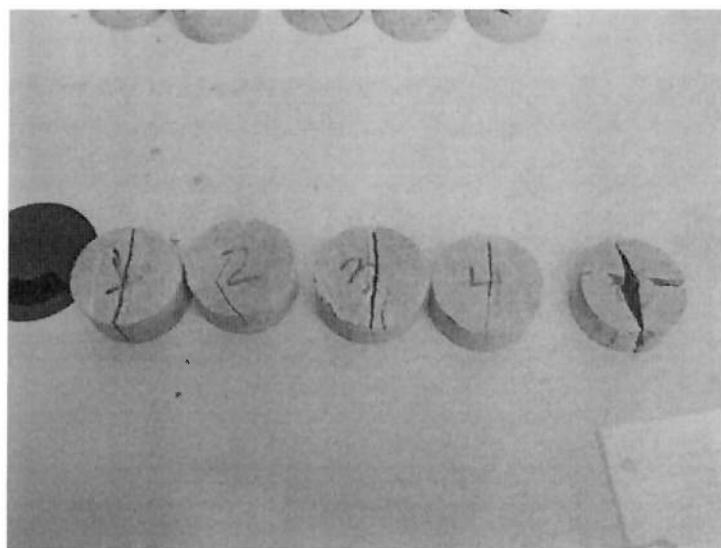


Figura 10 - Corpos de prova após o ensaio

A mandíbula de cima tem um acento esférico conveniente para que se possa encaixar o aparato na prensa. Um marcador de carga por deslocamento pode ser utilizado para melhor verificar o momento de ruptura do material.

O corpo de prova deve ser preparado em água e isento de quaisquer marcas de cortes, assim como suas faces devem ser paralelas. O diâmetro do corpo de prova deve ser similar ao tamanho NX, aproximadamente 54 mm, e a sua espessura não deve ser muito diferente do seu raio. Por fim a amostra deve ser envolta em fita adesiva no seu contorno, ficando somente as faces não cobertas.

A carga deve ser aplicada no corpo de prova de maneira contínua e de modo que a ruptura ocorra entre 15s e 30s. É recomendada uma carga de 200N/s. O número de ensaios a serem feitos deve ser previsto pela boa prática. Porém, quando tal quantidade não é definida, utiliza-se um número mínimo de 10 ensaios.

A resistência do material, dada em MPa, é calculada pela seguinte equação:

$$\sigma_t = 0,636 \frac{P}{Dt} \quad (2)$$

onde  $P$  é a carga na fratura, em N.  $D$  é o diâmetro do corpo de prova, em mm, e  $t$  é a espessura do corpo de prova no seu centro, em mm.

### Cisalhamento Direto

Este ensaio mede a resistência ao cisalhamento máxima e residual de uma amostra em relação a uma dada carga de compressão. Pode-se optar por fazer esse ensaio de modo inclinado, para que esta inclinação coincida com àquela de uma dada descontinuidade da rocha. Para que o dado de resistência seja consistente, cada ensaio deve ser repetido no mínimo cinco vezes para cada inclinação e força normal desejada.

Para a realização do teste, utiliza-se de dispositivos para modelar o corpo de prova tais como recipientes onde serão embutidos os corpos de prova e aplicadas resinas, cimentos ou similares para fixar o corpo de prova no recipiente (vide Figura 11).



Figura 11 - Recipientes com corpos de prova

O equipamento para efetuar o teste contém um sistema pneumático ou hidráulico para aplicar a carga normal de modo uniforme, um sistema hidráulico ou mecânico para aplicar a força cisalhante também de modo uniforme em uma das metades do corpo de prova, medidores independentes da força cisalhante e normal com uma precisão maior que 2% da carga máxima aplicada e medidores independentes do deslocamento causado pelas forças aplicadas, além de um sistema, de preferência automático, para re-calibração dos medidores no início de cada ensaio (vide Figura 12).

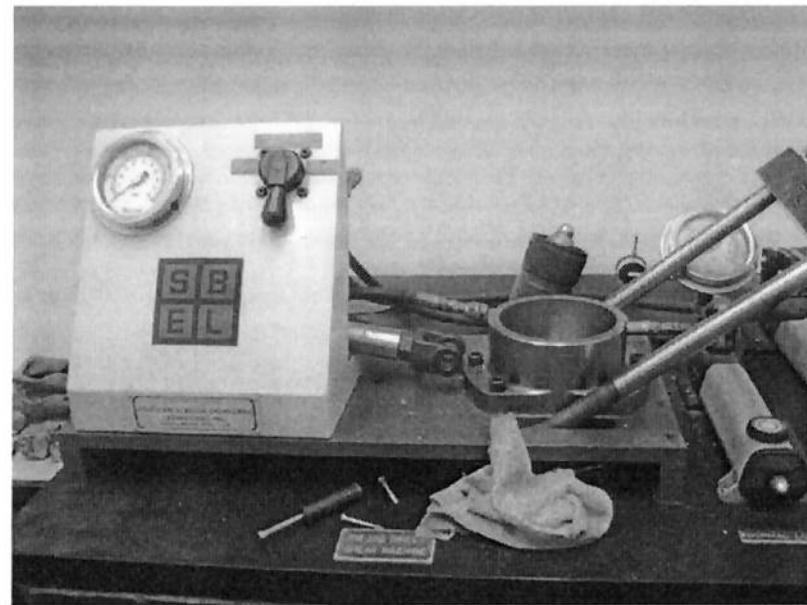


Figura 12 - Equipamento para ensaio de cisalhamento direto do LMR

O corpo de prova deve ser fixado nos recipientes com a utilização de cimento ou material similar, sendo que cada metade da amostra deve ser embutida num recipiente independente. Em seguida esses recipientes devem ser acoplados no equipamento responsável pelo teste. A carga normal deverá ser aplicada no nível desejado, seguida da força cisalhante que normalmente é aplicada de modo contínuo. A Figura 13 ilustra corpos de prova após os ensaios realizados.

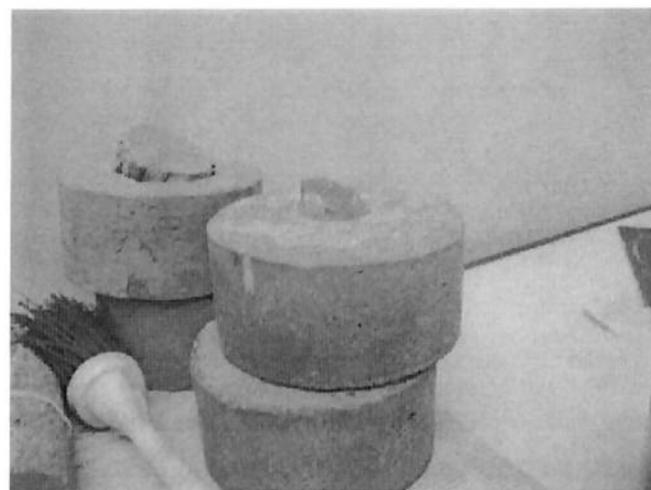


Figura 13 - Corpo de prova após o ensaio

Aproximadamente dez leituras devem ser feitas antes de se atingir o limite máximo de resistência. Após esse ponto, as leituras devem ser feitas a cada 0,5 – 5 mm de deslocamento da prensa para se medir a resistência residual.

A resistência será o valor máximo da curva, no pico onde ocorre a ruptura, e deverá ser apresentada juntamente com a força normal aplicada. A média entre os ensaios, descartados aqueles muito fora da média, representará a resistência da rocha ao cisalhamento naquele dado plano.

## 5. RESULTADOS

Os resultados obtidos nos experimentos anteriormente descritos estão dispostos, a seguir, na forma de tabelas ou imagens, para serem interpretados e discutidos posteriormente.

### Caracterização do Material

Foram feitos ensaios de Difração de Raio-X e Análise Química do material, sendo os resultados apresentados respectivamente na Figura 14 e na Tabela 1.

Objetivo destes ensaios, realizados no LCT, foi conhecer a composição química do material rochoso para eventuais correlações com outros tipos de análises originalmente planejados neste trabalho e que, posteriormente, foram considerados dispensáveis. De qualquer forma seu registro permanece, pois o autor pretende ampliar este trabalho em investigações futuras, além de permitir o conhecimento da composição mineralógica da amostra, conforme Tabela II.

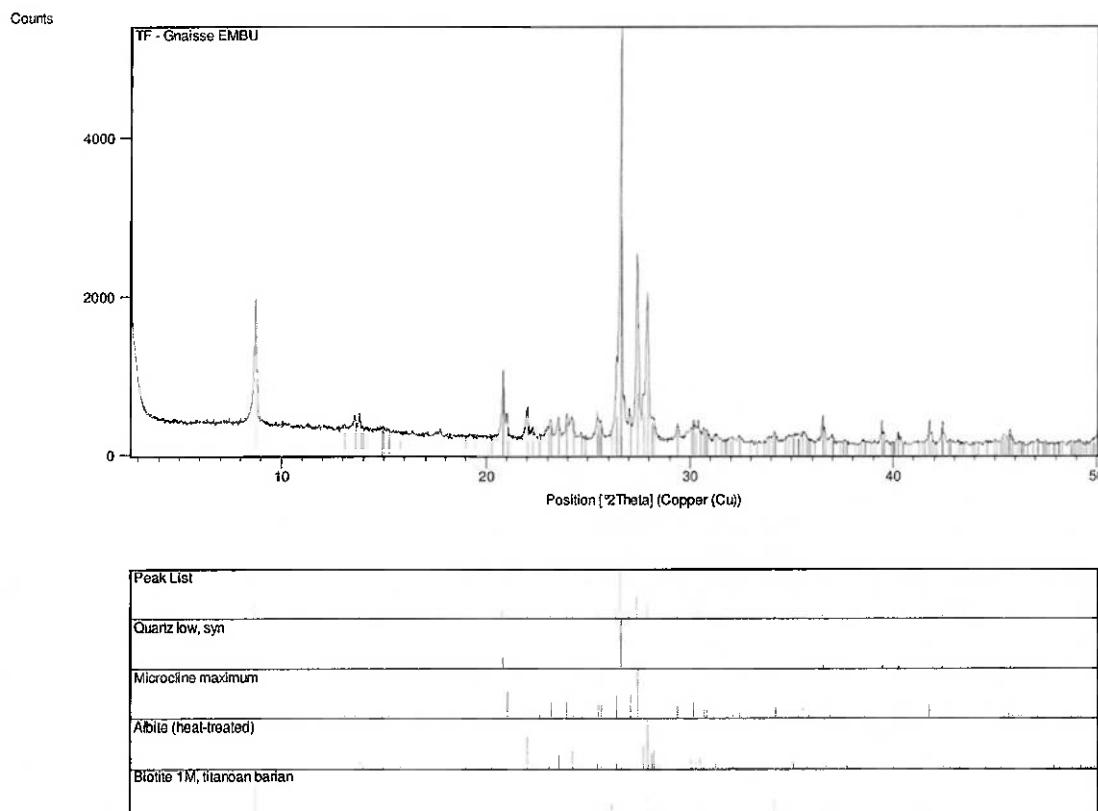


Figura 14 - Resultado do ensaio de Difração de Raio-X

Tabela I - Análise Química do material

Óxido	%
SiO <sub>2</sub>	67,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,20
K <sub>2</sub> O	5,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,29
Na <sub>2</sub> O	3,06
CaO	1,89
Pf	0,72
Outros	2,27

De posse desses resultados pode-se definir a composição mineralógica básica do material em questão, conforme indica a Tabela II.

Tabela II - Composição mineralógica da amostra

Composto	%
Quartzo	37
Albita	29
Microclinio	28
Biotita	6

## Esclerômetro Schmidt

Conforme estabelecido em norma, foram feitos 30 ensaios, dos quais foram retirados os 15 maiores valores apresentados na Tabela III. Em seguida, foi retirada a média desses 15 resultados, definindo-se a resistência superficial da amostra.

Tabela III - Resultado do ensaio com Esclerômetro Schmidt

Ensaio	Posição	Recuo	Resistência (MPa)
7	Vertical	70	106,7
19	Vertical	69	104,4
15	Vertical	67	99,7
4	Vertical	66	97,4
17	Vertical	66	97,4
21	Horizontal	68	96,1
18	Vertical	65	95,2
1	Vertical	64	92,9
3	Vertical	63	90,7
13	Vertical	63	90,7
16	Vertical	63	90,7
6	Vertical	62	88,5
11	Vertical	61	86,3
25	Horizontal	63	84,6
5	Vertical	60	84,1
<b>Média</b>	-	<b>64,7</b>	<b>93,7</b>

## Compressão Uniaxial

Devido à problemas ocorridos com a prensa durante a elaboração desse projeto os ensaios de compressão uniaxial não puderam ser feitos até o momento da entrega deste trabalho. A programação de sua realização está finalmente marcada para 02/12/2009.

O teste de compressão pontual (PLT), que, em campo, pode aproximadamente substituir este valor, tendo presente a faixa de variação registrada na metodologia deste ensaio.

No entanto, se a rocha for considerada dura e resistente o suficiente, caso da amostra em questão neste trabalho, o valor inicial determinado por Bieniawski, (1975) e Broch & Frankling, (1972) de que a correlação seria de 1 para 24, entre o valor da compressão uniaxial e o PLT, poderia ser usado como uma primeira aproximação. Ao longo da aquisição de maior experiência e dos dados dos ensaios programados, esse valor poderá ser melhor estabelecido.

## Point Load Test

A Tabela IV mostra os resultados dos ensaios feitos de acordo com a norma mencionada na metodologia, a resistência encontrada pela equação (1), tendo sido selecionado o método diametral para o ensaio.

Tabela IV - Resultado do ensaio PLT

Ensaio	Dm (mm)	Lm (mm)	Resistência (N)	Resistência (MPa)
1	53,4	55,8	29.500	10,3
2	53,6	55,3	26.500	9,2
3	53,4	55,7	20.000	7,0
4	53,5	55,1	26.000	9,1
5	53,4	54,1	26.000	9,1
<b>Média</b>	<b>55,2</b>	<b>53,5</b>	<b>25.600</b>	<b>8,4</b>

## Ensaio Brasileiro (Tração Indireta)

Com os ensaios realizados, a Tabela V foi gerada e calculados os devidos valores da resistência pela equação (2). O valor em destaque (amostra 2) foi desconsiderado, pois estava muito fora em relação aos outros.

Tabela V - Resultado do Ensaio Brasileiro

Ensaio	Dm (mm)	Lm (mm)	Carga (N)	Resistência (MPa)	
1	535	242	25000	0,12	
2	535	245	19000	0,09	Retirado
3	533	252	26000	0,12	
4	535	243	24000	0,12	
5	536	248	28000	0,13	
<b>Média</b>	<b>535</b>	<b>246</b>	<b>25750</b>	<b>0,12</b>	

## Cisalhamento Direto

Os ensaios foram feitos com diferentes cargas normais com o objetivo de se obter a média dos resultados. A Tabela VI mostra os resultados assim obtidos.

Tabela VI - Resultado do ensaio de Cisalhamento Direto

Ensaio	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Normal (KN)	Força Cisalhante (N)	Resistência (Mpa)
1	687,7	6,5	28400	41,3
2	686,3	6,5	29100	42,4
3	709,7	15,5	28200	39,7
4	661,7	27	45300	68,5
5	687,7	6,5	43600	63,4
6	661,8	27	60400	91,3
7	701,9	15,5	34200	48,7
8	697,0	27	57400	82,4
9	641,3	15,5	42100	65,6
<b>Média</b>	<b>681,7</b>	<b>16,3</b>	<b>40966,7</b>	<b>60,1</b>

## 6. CONCLUSÕES

Após os ensaios realizados e os dados obtidos, podem-se enumerar as propriedades básicas da amostra tratada, conforme mostrado na Tabela VII.

Tabela VII - Resumo dos resultados

Ensaio	Resultado
Esclerômetro	93,7 MPa
Compressão Uniaxial	-
Point Load Test	8,4 MPa
Ensaio Brasileiro	0,12 MPa
Cisalhamento Direto	60,1 MPa

Com esses valores, podem-se gerar o Círculo de Mohr característico para essa amostra, sendo por meio dos dados oriundos da compressão uniaxial ou considerando os estudos via PLT.

Neste caso o segundo método será utilizado, considerando 1 para 24 como fator de correlação, como mencionado no item de resultados da compressão uniaxial (vide a Figura 15).

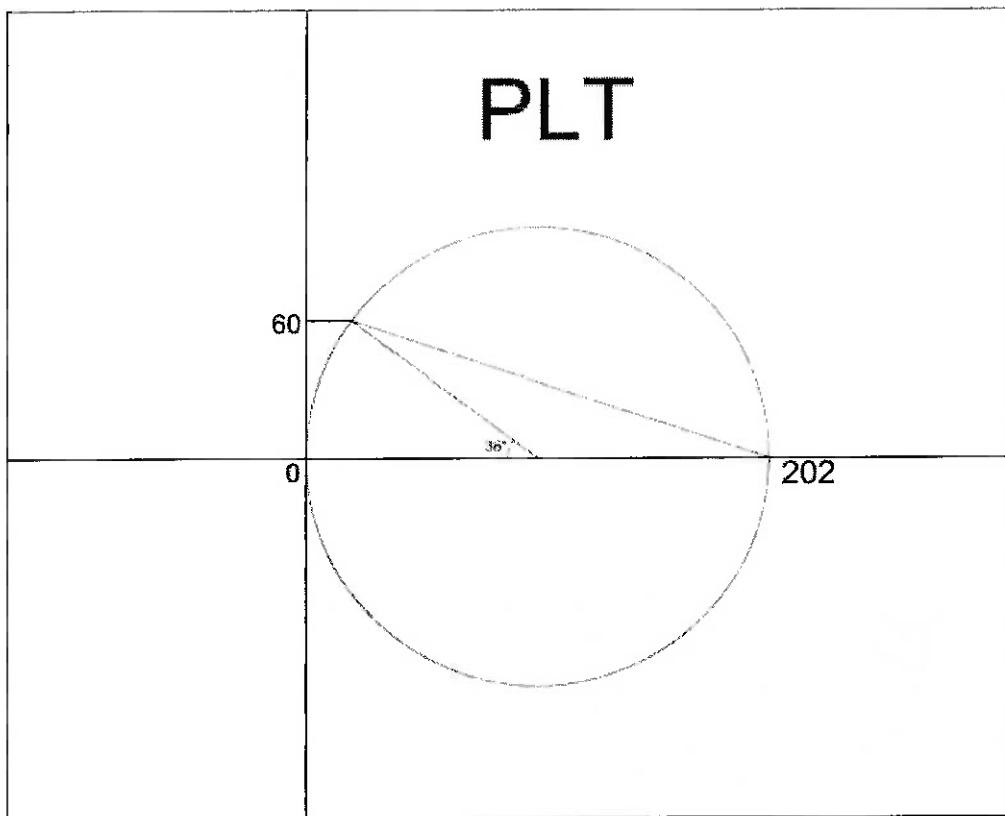


Figura 15 - Círculo de Mohr utilizando PLT como parâmetro de compressão

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brown, E. T. Rock Characterization, Testing & Monitoring. In: ISRM Suggested Methods, Royal School of Mines, Imperial College of Science and Technology, p.211, 1981.
- Heincoin, Brazilian Test Apparatus. Obtido em <[http://www.heicoin.com/pdf/rock\\_pdf/BRAZILIAN%20TEST%20APPARATUS.pdf](http://www.heicoin.com/pdf/rock_pdf/BRAZILIAN%20TEST%20APPARATUS.pdf)>, acessado em 20/10/2009.
- Rusnak, J. & Mark, C. Using the point load test to determine the uniaxial compressive strength of coal measure rock. Obtido em <<http://www.cdc.gov/niosh/mining/pubs/pdfs/utplt.pdf>>, acessado em 22/11/2009.
- Bieniawski, Z. T. The point load test in geotechnical practice. Eng. Geol., Sept., 1975, PP. 1-11.
- Broch, E. & Franking, J. A. The point load strength test. Int. Journal Rock Mech. Min. Sci 9, 1972, PP. 669-697.