

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E MECÂNICA DO FOLHELHO SÍLTICO, SÃO E MACIÇO DA REGIÃO CENTRAL DO MUNICÍPIO DE CRICIÚMA

Orientando Camila Grunitzki (1), Orientador Adailton Antônio dos Santos (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
cagrunitzki@hotmail.com (1), adailton@unesc.net (2)

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo principal a caracterização mineralógica e mecânica do folhelho siltico da região central do município de Criciúma – SC. Esta caracterização servirá como fonte para utilização em dimensionamentos de fundações, suprimindo a ausência de parâmetros locais e contribuindo para o dimensionamento racional das mesmas quando apoiadas no folhelho siltico. Para atingir o objetivo proposto, analisou-se 73 testemunhos cilíndricos da rocha objeto de estudo proveniente de duas regiões distintas do município, o bairro Michel (63 testemunhos) e o Centro (10 testemunhos). Os referidos testemunhos foram obtidos de seis furos de sondagens rotativas, sendo cinco no bairro Michel e um no Centro. A caracterização mecânica do folhelho siltico foi feita através de ensaios de resistência à compressão simples, conforme a NBR 12767/1992, enquanto que a classificação com relação à sanidade, grau de alteração, fraturamento e índice de recuperação, deu-se segundo classificação ABGE (1998). Para a caracterização mineralógica foram realizados ensaios de Difração de Raios-X e Espectrometria de Fluorescência de Raios-X. De posse dos dados de Resistência a Compressão Simples (RCS) das amostras ensaiadas, foi determinada a Resistência a Compressão Simples Característica (RCSc) dos maciços estudados. Os estudos realizados demonstram a semelhança entre os folhelhos silticos estudados no que se refere a composição mineralógica. Já quanto a RCSc não se obteve esta similaridade, ou seja, a RCSc do folhelho siltico do bairro Michel apresentou-se 46,06% superior a RCSc do folhelho siltico do Centro.

Palavras-Chave: *Resistência à Compressão Simples; Folhelho Siltico; Maciço Rochoso;*

1 INTRODUÇÃO

A ausência de parâmetros locais relacionados à resistência a compressão simples de maciços rochosos, induz a utilização de valores tabelados para fins de dimensionamento.

Assim sendo, a ausência destes parâmetros somada à utilização de fatores de segurança resulta em valores muito inferiores aos suportados realmente pela rocha, remetendo ao superdimensionamento dos elementos de fundação e acarretando no aumento no custo de implantação das estruturas como um todo.

No município de Criciúma – SC, embora existam formações geológicas distintas ao longo de sua extensão, o folhelho síltico está presente em grande parte do município, sendo comum o uso de fundações assentes nesse tipo de rocha.

A resistência à compressão simples da rocha é determinada por meio de ensaios, nos quais o testemunho de rocha extraído através da sondagem rotativa é regularizado e submetido à ação de uma força perpendicular à sua estratificação.

Portanto, o objetivo principal do presente trabalho foi o de determinar a resistência à compressão simples característica do folhelho síltico, são e maciço, da região central do município de Criciúma, associado à sua caracterização mineralógica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na elaboração do presente trabalho, inicialmente, buscou-se na literatura técnica, conhecimentos teóricos referentes a formações geológicas, maciços rochosos, folhelho síltico, ensaios de resistência à compressão simples, etc. Em seguida, analisou-se mapas geológicos para a caracterização geológica das áreas de onde foram extraídos os testemunhos de rocha, objetos de estudo.

Através da literatura técnica e de dados existentes, foi possível realizar a descrição dos testemunhos extraídos das sondagens rotativas.

De posse dos testemunhos de rochas coletados, realizaram-se ensaios de Resistência à Compressão Simples – RCS, no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

Para que fosse possível a realização dos ensaios, a Construtora Edson Damiani e Cia LTDA, disponibilizou os testemunhos de rocha coletados em cinco furos de sondagem rotativa, realizados em uma área do bairro Michel. A empresa Milenium Administradora de Bens LTDA, por sua vez disponibilizou os dados referentes a um furo de sondagem rotativa executado em uma área do Centro da cidade.

Paralelamente aos ensaios de RCS procederam-se ensaios complementares de Difração de Raio-X e Fluorescência de Raio-x, a fim de verificar as composições

químicas e mineralógicas do maciço rochoso estudado, os quais foram executados pelo IDT – Instituto de Engenharia e Tecnologia da UNESC e pelo LDCM – Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização em Materiais, do SENAI de Criciúma – SC, respectivamente.

Por fim, como última análise, determinou-se por meio de tratamento estatístico a resistência característica do maciço rochoso estudado, com 95% de confiança, com a finalidade de suprir a ausência de parâmetros locais para esse tipo de rocha.

2.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo (Figura 1), estão localizadas no município de Criciúma, sul do Estado de Santa Catarina, e estão situadas em duas regiões distintas (Tabela 1).

Tabela 1 – Localização das áreas de estudo.

Área	Furo	Coordenadas UTM		Cota	Localização
		Norte	Leste		
A1	SR-05"	6.826.891,000	659.601,000	46,030	Centro
A2	SR-01	6.825.849,860	659.081,138	54,201	Bairro Michel
A2	SR-02	6.825.836,739	659.092,679	52,293	Bairro Michel
A2	SR-03	6.825.828,334	659.082,965	52,331	Bairro Michel
A2	SR-04	6.825.828,536	659.103,961	52,053	Bairro Michel
A2	SR-05	6.825.849,369	659.104,709	52,272	Bairro Michel

Fonte: Camila Grunitzki.

Figura 1 - Localização do objeto de estudo, A1 e A2.



Fonte: www.google.com.br/earth.

2.2 GEOLOGIA

As áreas de estudo localizam-se na bacia hidrográfica do Rio Araranguá, onde verifica-se o afloramento de rochas sedimentares e vulcânicas. A geologia local das áreas A1 e A2 é caracterizada pela ocorrência de rochas sedimentares das Formações Rio Bonito e Palermo.

O pacote de rocha exposto na área A1, é constituído por arenitos arcóseos e arenitos finos à médios, de cor cinza-claro a cinza-médio, tendo como principal estrutura a laminação plano-paralela.

A área A2 constitui-se por arenitos cinza-amarelados, com ocorrência de arenitos variando de cinza-claro a cinza-médio, com camadas intercaladas de folhelho síltico, também possui como característica de sua estrutura a laminação plano-paralela.

2.3 COLETA DOS TESTEMUNHOS DE ROCHA

Para a coleta dos testemunhos de rocha utilizados nos ensaios de resistência à compressão simples, foram executados ao todo seis furos de sondagem rotativa com diâmetro HW.

Os testemunhos coletados nas sondagens, foram armazenados para transporte em caixas de madeira, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Exemplo de armazenagem dos testemunhos para transporte.



Fonte: IDT (2011).

2.4 DESCRIÇÃO DOS TESTEMUNHOS DE ROCHA

A descrição geológico-geotécnica dos materiais dos furos de sondagem rotativa foi realizada com base na análise técnica dos testemunhos de rocha encaminhados ao LMS – laboratório de mecânica dos solos, pela empresa SAVI – Fundações e Sondagens Ltda. As descrições apresentadas a seguir foram realizadas com o auxílio do geólogo Clóvis Norberto Savi.

No furo SR-05” foi encontrado folhelho siltico são (A1), pouco fraturado (F2), com RQD Bom (79,79%), segundo classificação ABGE (1998).

No furo SR-01 foram executadas três manobras referentes ao folhelho siltico. Na primeira manobra, encontrou-se folhelho siltico muito alterado (A4), extremamente fraturado (F5), com RQD Muito Fraco (0%). Já na segunda e terceira manobras, encontrou-se folhelho siltico variando de pouco alterado (A2) a são (A1); medianamente fraturado (F3) a pouco Fraturado (F2); com RQD Fraco (56,00%) a excelente (100%). Segundo a classificação ABGE (1998). No furo SR-02 foram executadas duas manobras referentes ao folhelho siltico, o qual encontra-se pouco alterado (A2), variando de medianamente fraturado (F3) a pouco fraturado (F2), com RQD Regular (66% - 74%), segundo classificação ABGE (1998).

No furo SR-03 foi executada uma manobra referente ao folhelho siltico, o qual encontra-se pouco alterado (A2), medianamente fraturado (F3), com RQD Regular (62,50%), segundo classificação ABGE (1998).

No furo SR-04 foram executadas duas manobras referentes ao folhelho siltico, o qual encontra-se pouco alterado (A2), variando de medianamente fraturado (F3) a pouco fraturado (F2), com RQD variando de bom (77,00%) a excelente (92,00%), segundo classificação ABGE (1998).

No furo SR-05 duas manobras foram executadas referentes ao folhelho siltico, o qual encontra-se muito alterado (A4), extremamente fraturado (F5) e RQD Muito Fraco (0%). Na segunda manobra, o folhelho siltico encontrado é pouco alterado (A2), medianamente fraturado (F3) e RQD Regular (66,00%), segundo a classificação ABGE (1998).

2.5 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

A identificação dos minerais constituintes do folhelho síltico foi obtida através do método de Difração de Raios-X em amostras provenientes dos testemunhos preservados.

O ensaio foi realizado em uma amostra aleatória de folhelho síltico de cada área avaliada, a fim de identificar os minerais presentes em sua composição. Os ensaios de difratometria foram realizados pelo IDT/UNESC.

Com a finalidade de comprovar a veracidade dos ensaios de Difração de Raios-X e descobrir os compostos químicos presentes nos folhelhos sílticos analisados, foram realizados ensaios de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X em uma amostra de cada área estudada.

Duas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização em Materiais (LDMC), do SENAI de Criciúma – SC, para que fosse realizado o ensaio.

2.6 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Para a determinação da resistência à compressão simples do folhelho síltico foram utilizados 73 testemunhos de rocha sã e maciça, distribuídos em 6 furos de sondagem rotativa, da seguinte forma:

- 10 testemunhos no furo SR-05”, no intervalo compreendido entre as cotas + 37,241 e + 32,521.
- 14 testemunhos no furo SR-01, no intervalo compreendido entre as cotas + 50,201 e + 45,201
- 16 testemunhos no furo SR-02, no intervalo compreendido entre as cotas + 48,293 e + 43,793.
- 8 testemunhos no furo SR-03, no intervalo compreendido entre as cotas + 49,331 e + 45,331.
- 19 testemunhos no furo SR-04, no intervalo compreendido entre as cotas + 49,053 e + 45,553.
- 6 testemunhos no furo SR-05, no intervalo compreendido entre as cotas + 49,272 e + 44,772.

Atendendo as recomendações da NBR 12767/1992, fez-se o capeamento com cimento, na base e no topo dos testemunhos que possuíam pequenas irregularidades. Nos testemunhos que possuíam grandes imperfeições, devido às descontinuidades na ruptura, foi utilizado a Politriz Lixadeira Metalográfica, a fim de promover o desgaste da área irregular e resultar em uma superfície plana.

Para todas as amostras foram determinados os diâmetros médios e as alturas médias, através de três medidas (topo, meio e base), a fim de se obter o fator de correção.

A resistência à compressão simples de uma rocha deve ser dada pela média das resistências obtidas na condição de umidade natural e na condição saturada, porém a rocha objeto de estudo, por se tratar de um folhelho síltico, o qual sofre deslocamento devido as variações intempéricas, foi realizado o ensaio somente na condição de umidade natural.

Os ensaios de RCS foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), do Iparque/UNESC em uma prensa para ensaios mecânicos modelo PC 2001 com capacidade para 200 toneladas, conforme Figura 3.

Figura 3 - Testemunho colocado na prensa, para medir sua RCS.



Fonte: Camila Grunitzki.

A ruptura em todos os testemunhos ensaiados ocorreu paralelamente ao esforço aplicado (Figura 4), isso se deve à ausência de microfissuras e ao fato de o ensaio ter sido realizado em condição de desconfinamento lateral.

Figura 4 - Ruptura do testemunho.



Fonte: Camila Grunitzki.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de difração de raios-X.

Tabela 2 - Composição mineralógica obtida através da difração de raios-X

Amostra	Fração	Minerais Principais
1	Total	Quartzo, Siderite (calcita), Caulinita e Muscovita
	Silte	Quartzo e Siderite (calcita)
	Argila	Caulinita e Muscovita
2	Total	Quartzo, Siderite (calcita), Caulinita e Muscovita
	Silte	Quartzo e Siderite (calcita)
	Argila	Caulinita e Muscovita

Fonte: Camila Grunitzki

Nos ensaios de difração de raios-X, foi possível identificar a presença dos mesmos componentes mineralógicos nas duas áreas estudadas.

A fim de confirmar a semelhança entre os resultados obtidos na difração de raios-X, foram realizados os ensaios de espectrometria de fluorescência de raios-X. Os resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Ensaio de espectrometria de fluorescência de raios-X.

Composição (%)	Folhelho Siltico	
	A1	A2
Al ₂ O ₃	20,71	21,03
CaO	0,35	0,26
Fe ₂ O ₃	10,75	7,33
K ₂ O	2,34	2,71
MgO	0,89	1,09
MnO	0,29	0,12
Na ₂ O	0,13	0,15
P ₂ O ₅	0,13	0,19
SiO ₂	48,19	54,22
TiO ₂	0,91	1,04
Perda Fogo	15,31	11,86

Fonte: Camila Grunitzki

A partir dos resultados, pode-se observar a similaridade entre as composições, nas quais os teores químicos possuem variações mínimas.

Por meio das análises químicas e mineralógicas pode-se verificar que os folhelhos silticos estudados, são constituídos principalmente por silicatos e aluminatos, os quais podem indicar a existência de quartzo, argilominerais (como a caulinita) e feldspatos.

A presença do óxido de cálcio e óxido de ferro, pode indicar a presença da calcita e pirita, respectivamente. Já o elevado teor de silício indica que a cimentação dessa rocha ocorre através da porção quartzo.

3.2 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

As tabelas 4 a 9 apresentam os resultados dos ensaios de RCS realizados nos testemunhos dos 6 furos de sondagem rotativa.

Tabela 4 - Ensaio de RCS dos testemunhos de folhelho siltico SR-05"

Amostra nº	Intervalo	Área (m ²)	Carga (kN)	Resistência à compressão (MPa)
1		0,0044	67,80	15,39
2		0,0044	64,20	14,73
3		0,0043	61,10	14,36
4		0,0043	32,90	7,61
5	-7,789 a -12,489	0,0042	70,30	16,57
6		0,0044	45,12	10,32
7		0,0043	62,80	14,60
8		0,0038	49,90	13,31
9		0,0043	47,90	11,05
10		0,0044	163,20	37,04

Fonte: Camila Grunitzki

Tabela 5- Ensaio de RCS dos testemunhos de folhelho siltico SR-01

Amostra nº	Intervalo	Área (m ²)	Carga (kN)	Resistência à compressão (MPa)
1		0,0042	125,40	27,99
2		0,0041	212,60	48,55
3		0,0042	98,30	20,62
4		0,0044	140,50	29,23
5		0,0044	133,40	23,95
6		0,0042	100,40	20,30
7	50,201 a 45,201	0,0043	136,10	27,96
8		0,0044	123,60	26,56
9		0,0044	115,20	25,41
10		0,0044	116,70	21,57
11		0,0044	123,30	22,86
12		0,0042	228,10	52,04
13		0,0044	95,90	21,01
14		0,0044	103,50	23,43

Fonte: Camila Grunitzki

Tabela 6 - Ensaio de RCS dos testemunhos de folhelho siltico SR-02

Amostra nº	Intervalo	Área (m ²)	Carga (kN)	Resistência à compressão (MPa)
1		0,0044	60,70	9,95
2		0,0041	113,60	26,62
3		0,0042	126,80	29,28
4		0,0041	98,90	22,10
5		0,0043	120,30	26,97
6		0,0042	168,40	39,98
7		0,0044	126,40	26,93
8	48,293 a 43,793	0,0043	127,90	29,36
9		0,0044	97,80	22,21
10		0,0043	117,00	25,53
11		0,0044	230,50	50,03
12		0,0043	146,40	27,57
13		0,0044	117,00	26,63
14		0,0044	145,30	27,78
15		0,0044	109,20	22,45
16		0,0044	116,32	26,36

Fonte: Camila Grunitzki

Tabela 7 - Ensaio de RCS dos testemunhos de folhelho siltico SR-03

Amostra nº	Intervalo	Área (m ²)	Carga (kN)	Resistência à compressão (MPa)
1		0,0044	101,50	23,32
2		0,0044	98,20	20,89
3		0,0044	128,90	28,12
4	49,331 a 45,331	0,0044	112,70	21,00
5		0,0044	88,40	17,10
6		0,0042	83,10	17,76
7		0,0043	92,40	16,72
8		0,0044	64,53	14,61

Fonte: Camila Grunitzki

Tabela 8 - Ensaio de RCS dos testemunhos de folhelho síltico SR-04

Amostra nº	Intervalo	Área (m ²)	Carga (kN)	Resistência à compressão (MPa)
1		0,0043	113,90	24,64
2		0,0043	128,50	28,97
3		0,0412	91,50	20,55
4		0,0425	83,80	18,56
5		0,0044	67,30	16,36
6		0,0043	117,30	25,39
7		0,0044	137,90	31,03
8		0,0044	141,60	32,80
9		0,0044	149,50	31,99
10	49,053 - 45,553	0,0042	109,74	25,11
11		0,0043	133,50	31,88
12		0,0044	100,20	22,64
13		0,0044	150,00	33,18
14		0,0044	163,90	36,18
15		0,0045	114,10	23,21
16		0,0044	149,50	27,71
17		0,0044	168,60	32,66
18		0,0044	133,10	25,01
19		0,0044	70,90	16,05

Fonte: Camila Grunitzki

Tabela 9 - Ensaio de RCS dos testemunhos de folhelho síltico SR-05

Amostra nº	Intervalo	Área (m ²)	Carga (kN)	Resistência à compressão (MPa)
1		0,0043	98,70	20,65
2		0,0044	104,80	21,71
3	49,272 - 44,772	0,0043	36,30	7,58
4		0,0043	106,00	23,42
5		0,0043	101,90	25,43
6		0,0044	99,10	22,61

Fonte: Camila Grunitzki

3.2.1 Determinação Da RCS Característica (RCSc)

Estabelecendo um intervalo de 95% de confiança, fez-se o tratamento estatístico para determinar a RCSc, utilizando a equação 01.

$$RCS_c = RCS_{m\u00e9dio} - \left[\frac{S \times t \times 0,95}{\sqrt{(n-1)}} \right] \quad \text{equa\u00e7\u00e3o (01)}$$

O desvio padr\u00e3o foi calculado atrav\u00e9s da equa\u00e7\u00e3o 02:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (RCS - RCS_{m\u00e9dio})^2}{n}} \quad \text{equa\u00e7\u00e3o (02)}$$

Em que:

$RCS_{m\u00e9dio}$ = RCS m\u00e9dio das amostras;

S = Desvio padr\u00e3o;

t = N\u00famero de Student para 95%;

n = N\u00famero de amostras;

Com base nos valores de RCS obtidos determinou-se a resist\u00eancia \u00e0 compress\u00e3o simples caracter\u00edstica do folhelho s\u00edltico das \u00e1reas A1 e A2, com 95% de confian\u00e7a, cujos resultados se encontram na Tabela 10.

Tabela 10 - Resist\u00eancia \u00e0 compress\u00e3o simples caracter\u00edstica do folhelho s\u00edltico

Sondagem	n	"t" Student	RCSm (MPa)	S	RCS _c (MPa)
\u00c1rea 01	10	1,812	15,50	7,63	11,10
\u00c1rea 02	63	1,645	25,65	7,88	24,10

Fonte: Camila Grunitzki

A an\u00e1lise dos dados da Tabela 10 permite classificar o folhelho s\u00edltico, segundo os crit\u00e9rios da IAEG (1979), como variando de fraco (1,5 – 15 MPa) a moderadamente forte (15 – 50 MPa).

4 CONCLUS\u00d5ES

A partir dos resultados obtidos atrav\u00e9s das an\u00e1lises mineral\u00f3gicas e dos componentes presentes nos folhelhos s\u00edlticos, pode-se concluir que embora o fator profundidade n\u00e3o tenha sido analisado, a caracteriza\u00e7\u00e3o mineral\u00f3gica dos maci\u00e7os confirma que ambas as \u00e1reas possuem folhelho s\u00edltico, que embora distantes entre si e em profundidades variadas, possuem as mesmas caracter\u00edsticas.

Contudo, embora mineralogicamente semelhantes, o folhelho siltico A2 apresentou RCSc 46,06% superior ao RCSc do folhelho siltico A1. Essa variação pode estar associada à profundidade, fator que não foi levado em consideração neste estudo.

Das amostras da Área A1, obteve-se RCSc com 95% de confiança de 11,10 MPa, a qual, segundo os critérios da IAEG (1979) enquadra-se na classe 1: classificação fraca. Utilizando os mesmos critérios para a Área A2, obteve-se RCSc de 24,10 MPa, enquadrando-se na classe 2: classificação moderadamente forte.

Logo, adotou-se no presente trabalho o valor de 11,10 MPa, como a resistência à compressão simples característica do folhelho siltico, são e maciço, da região central do município de Criciúma, por se tratar do menor valor encontrado. Entretanto, sabe-se que na prática a resistência é superior, pois a rocha encontra-se em estado de confinamento lateral, o que implica no aumento de sua resistência.

Contudo, sabe-se que na ausência de fontes locais de dados de RCS, utiliza-se normalmente em dimensionamentos, o valor de 0,40 MPa, valor este que representa apenas 3,60% da resistência à compressão simples realmente suportada pelo folhelho siltico da região central do município de Criciúma, estudado no presente trabalho.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para revestimento - determinação da resistência à compressão uniaxial: método de ensaio**. NBR 12767. Rio de Janeiro, 1992.

BARBETTA, Pedro A. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais**, Editora Da UFSC, Florianópolis, v.3, 2003, p. 211-241.

FRAZÃO, Ely Borges. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil**. São Paulo: ABGE, 2002. 132p.

IAEG (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY). **Engineering geological maps: a guide to their preparation**. Paris: Unesco Press, 1976. 79p.

MACIEL FILHO, Carlos Leite. **Introdução à geologia de engenharia**. 2.ed Brasília: Companhia de pesquisa de recursos minerais, 1997. 283 p



OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. – Geologia de Engenharia, 1a. ed. ABGE. 1998,
586 p.