

Valores do parâmetro de poropressão B em solo residual de gnaiss

Cesar Schmidt Godoi

Leme Engenharia / UNISUL, Florianópolis, Brasil, cesargodoi@hotmail.com

Marciano Maccarini

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, maccarini.m@ufsc.br

Fábio Krueger da Silva

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fabio.krueger@ifsc.edu.br

Murilo da Silva Espíndola

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, murilo.espindola@ufsc.br

RESUMO: O parâmetro de poropressão B, definido por Skempton, é avaliado em ensaios triaxiais para verificação da saturação de corpos de prova. Esse parâmetro expressa o aumento da poropressão em um carregamento não drenado, devido ao acréscimo da pressão confinante, sendo uma relação entre a compressibilidade do esqueleto sólido e a porosidade do solo (compressibilidade das fases fluidas e/ou gasosas que preenchem os vazios). A utilização prática deste parâmetro envolve a avaliação tanto de percolação, quanto de estabilidade, devido às condições de carregamento drenado ou não drenado. No entanto, a função de rigidez do esqueleto sólido é ainda pouco avaliada, sobretudo para solos residuais. Desta forma, tendo em vista as características inerentes de cada tipo de solo e carregamento imposto, é interessante a avaliação do parâmetro B considerando as particularidades inerentes à condição local. Desta forma, o presente trabalho apresenta uma análise do comportamento do parâmetro de poro-pressão B, durante o processo de saturação por contrapressão em ensaios triaxiais em solo residual de gnaiss. As verificações foram realizadas a cada 24 horas, sendo que após a verificação, aumentou-se a contrapressão (entre 60 e 80 kPa). As amostras foram coletadas em diferentes profundidades de um talude e em um poço de inspeção localizados na cidade de Santo Amaro da Imperatriz/SC. No total foram coletadas 5 blocos estruturados, sendo realizados diferentes ensaios geomecânicos e de caracterização em um perfil de solo residual de ortognaiss. De forma geral, durante o processo de saturação por contrapressão nos ensaios triaxiais, observou-se que os valores do parâmetro B de Skempton não alcançaram valor igual a 1 (considerado solo “saturado”). Através da análise de todos os corpos de prova nos ensaios triaxiais, o valor médio máximo de B foi igual a 0,9328 para a amostra Tal. 4- AM.1-prof. 0,5m e um valor médio mínimo de 0,8167 para a amostra Tal. 2-AM.1-prof. 0,5m. A obtenção de parâmetros de B inferiores a 1 pode ser explicada pela rigidez e cimentação da estrutura do solo (valor de C_{sk} relativamente baixo), tornando a relação entre a compressibilidade dos vazios e a compressibilidade do esqueleto sólido alta, e consequentemente o valor de B inferior a 1. Por meio das observações realizadas neste trabalho, constata-se que existe uma influência significativa da rigidez do esqueleto sólido no aumento da poropressão na água dos vazios, relacionada ao aumento da contrapressão e a saturação do solo, durante a etapa de saturação nos ensaios triaxiais.

PALAVRAS-CHAVE: Solos residuais, parâmetro B, Gnaiss, ensaios triaxiais

1 INTRODUÇÃO

O parâmetro de poro-pressão B expressa o aumento da poropressão em um carregamento não drenado devido ao acréscimo da pressão confinante (Holtz et al, 1981).

Em problemas relacionados à resistência ao cisalhamento não drenada dos solos, Skempton (1954) verificou ser conveniente avaliar a variação de poropressão (ΔU) em relação às alterações nas tensões principais $\Delta\sigma_1$ e $\Delta\sigma_3$, através da equação 1.

$$\Delta U = B \times [\Delta\sigma_3 + A \times (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad (1)$$

Onde A e B são "coeficientes de poropressão." Estes coeficientes são medidos experimentalmente em ensaios triaxiais, e os valores de $\Delta\sigma_1$ e $\Delta\sigma_3$ são, em geral, escolhidos para representar as mudanças na tensão principal que ocorrem em problemas práticos em obras geotécnicas.

No presente trabalho está apresentada uma análise de parâmetros de poropressão B , obtidos através de uma série de ensaios triaxiais e pesquisa em solos residuais de gnaiss, de forma a avaliar os resultados obtidos e comparar com alguns parâmetros observados na teoria e prática geotécnica.

1.1 Área de estudos: Local de coleta das amostras

O local de estudos faz parte de uma área de pesquisa em solos residuais, localizado na cidade de Santo Amaro da Imperatriz-SC.

Geologicamente, a área está inserida no chamado Complexo Águas Mornas, o qual representa uma faixa descontínua de granitóides deformados, com frequentes estruturas gnáissicas, localmente migmatíticas (Sato, 2006). Bittencourt *et al.* (2008) cita que o Complexo Águas Mornas compreende principalmente ortognaisses, com ocorrência subordinada de paragnaisses. Os ortognaisses são constituídos por K-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda. O bandejamento metamórfico-deformacional é milimétrico e bem marcado pela intercalação de bandas ricas em quartzo e feldspatos e níveis ricos em biotita.

A Figura 1 e Figura 2 apresentam uma vista geral do local, bem como a identificação dos principais pontos de estudo. No total foram coletadas 5 amostras de diferentes cotas, as quais possibilitaram a caracterização geomecânica do solo residual de ortognaisse. Essas amostras foram identificadas conforme a Tabela 1, a qual também apresenta a profundidade de coleta e a cota de retirada de cada uma das amostras.

Tabela 1 – Amostras coletadas para análise (Tal – Talude; PI – Poço de Inspeção)

Amostra	Profundidade (m)	Cota (m)
TAL-4, AM-1	0,50	56,8
PI-1, AM-1	1,00	45,4
PI-1, AM-2	2,00	44,4
PI-1, AM-3	3,00	43,4
TAL-2, AM-1	0,50	47,3



Figura 1. Vista geral da área de estudos, com indicação dos locais onde as amostras foram coletadas

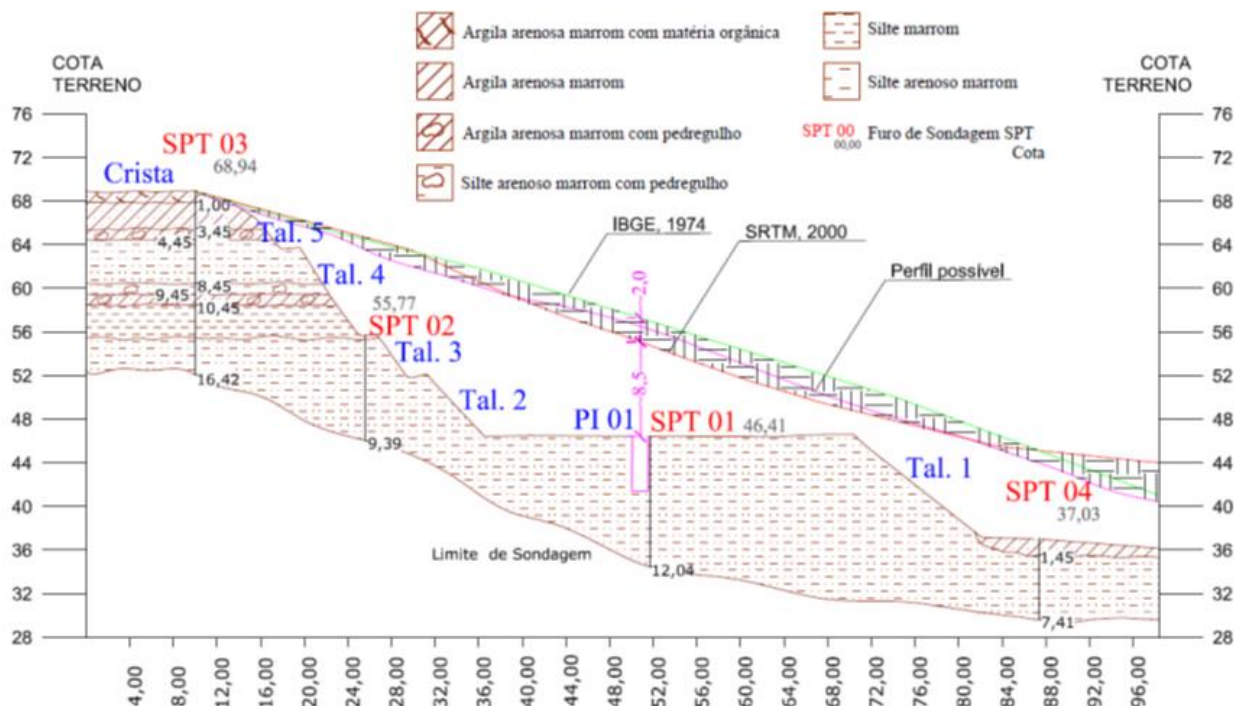


Figura 2. Seção transversal do talude, com indicação dos diferentes tipos de solos encontrados no local, e identificação dos locais de coleta de amostras (em azul)

1.2 Características físicas e aspectos de formação dos solos analisados

A área de estudo é caracterizada geologicamente como um ortognaisse com um perfil de solo residual desenvolvido. As análises *in situ* possibilitaram a identificação de estruturas reliquias nas amostras coletadas. A presença dessas estruturas dificultou o processo de amostragem dos blocos indeformados e moldagem dos corpos de prova nos ensaios laboratoriais.

Em relação à caracterização física, as amostras do poço de inspeção (PI) tiveram a predominância da fração areia, enquanto que as amostras do talude (TAL) predominaram a fração silte. De acordo com a classificação SUCS, se enquadram como ML (silte de baixa compressibilidade) para as amostras do talude e SM (areia siltosa) no poço de inspeção. Segundo a proposta de classificação de Vargas (1988) para solos tropicais as amostras analisadas se enquadram como ML (rocha decomposta) e KL (cauliníticos). Os limites de liquidez variaram entre 38 e 52%, enquanto que os índices de plasticidade variaram de 6 a 18%.

2 METODOLOGIA

Para verificação da saturação da amostra, foram analisados os valores dos parâmetros de poropressão B de Skempton, através de pelo menos 4 verificações do parâmetro, para diferentes pressões neutras. As verificações foram realizadas a cada dia, sendo que após a verificação, aumentava-se a contra-pressão (entre 60 e 80 kPa). Afirma-se que todo o processo de saturação foi realizado por contra-pressão. Desta forma, a etapa de saturação levou pelo menos 4 dias para sua realização. Skempton (1954) definiu a relação de B, entre Δu e $\Delta \sigma_3$ conforme apresentado na equação (2).

$$\frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3} = B = \frac{1}{1 + \frac{n \cdot C_v}{C_{sk}}} \quad (2)$$

Onde C_v é o parâmetro de compressibilidade dos vazios; C_{sk} é o coeficiente de compressibilidade do esqueleto sólido; n é a porosidade.

A utilização de maiores contra-pressões para determinados corpos de prova foi possível através da utilização da Prensa Trittech 100 – WF, a qual apresenta uma capacidade de carga de 1 tonelada.

Cabe ressaltar que alguns corpos de prova foram danificados durante alguma das etapas de moldagem, saturação ou eventuais problemas no equipamento durante o processo de saturação. Por esse motivo, nos gráficos alguns corpos de prova podem não estar com todas as etapas de evolução de contra-pressão.

O parâmetro de poro-pressão B expressa o aumento da poropressão em um carregamento não drenado devido ao acréscimo da pressão confinante (Holtz et al, 1981). Se o solo estiver completamente saturado, então C_v será correspondente à compressibilidade da água, onde para muitos solos $C_{água}/C_{sk}$ tende a 0. Assim para solos saturados, $B = 1$, e para solos secos $B = 0$. Solos parcialmente saturados apresentam valores de B entre 0 e 1.

No entanto, como em geral C_v e C_{sk} são não-lineares para solos, a relação entre B e o grau de saturação (S) também é não linear (Holtz et al, 1981).

Neste trabalho, os parâmetros de poro-pressão B , foram determinados no estágio de saturação dos corpos de prova, sendo calculados a cada 24 horas após a estabilização da contra-pressão. Ou seja, aumentavam-se a pressão neutra e a pressão confinante (diferença de 5 kPa), e aguarda-se 24 horas para determinar o parâmetro B . Esse acompanhamento levou as etapas de saturação dos corpos de prova por pelo menos 4 dias.

3 RESULTADOS

Os gráficos seguintes mostram a variação do parâmetro B , em função da contra-pressão para os corpos de prova das amostras Tal. 4 – AM.1 – prof. 0,5m (Figura 3); Tal. 2-AM.1-Prof. 0,5m (Figura 4); Amostra PI-1-AM.1-Prof. 1m (Figura 5); PI-1-AM.2-Prof. 2m (Figura 6); e Amostra PI-1-AM.3-Prof. 3m (Figura 7).

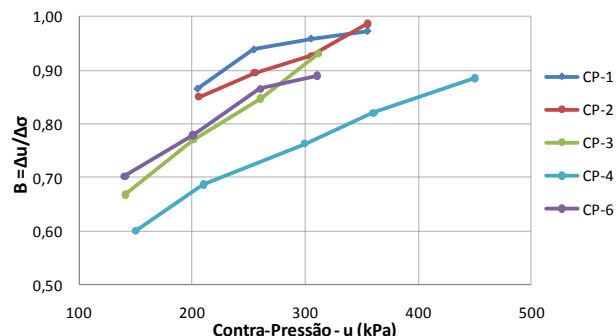


Figura 3. Amostra Tal. 4-AM.1-prof. 0,5m - Gráfico de variação do parâmetro B com a contra-pressão

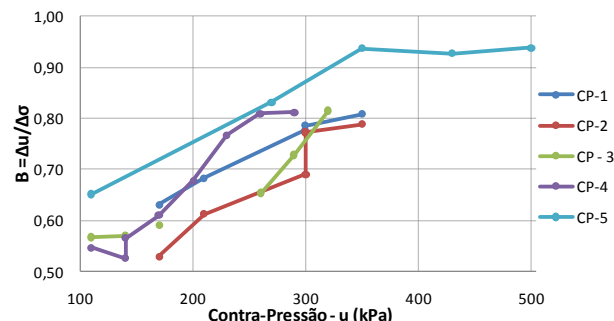


Figura 4. Amostra Tal. 2-AM.1-prof. 0,5m - Gráfico de variação do parâmetro B com a contra-pressão

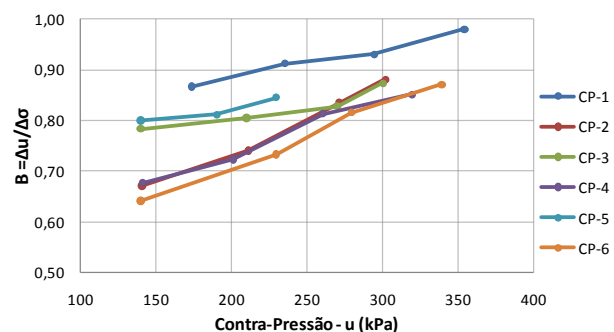


Figura 5. Amostra PI-1-AM.1-prof. 1m - Gráfico de variação do parâmetro B com a contra-pressão

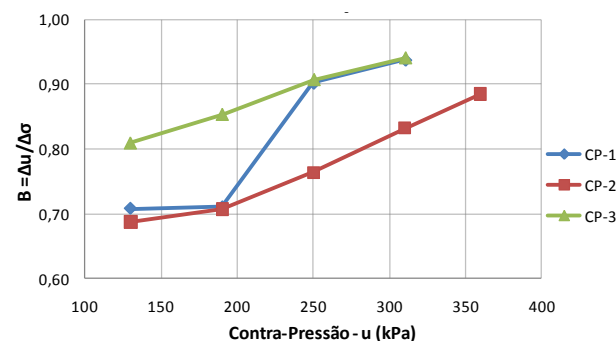


Figura 6. Amostra PI-1-AM.2-Prof. 2m - Gráfico de variação do parâmetro B com a contra-pressão

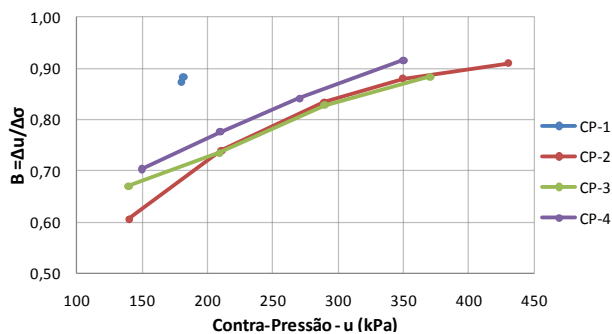


Figura 7. Amostra PI-1-AM.3-Prof. 3m - Gráfico de variação do parâmetro B com a contra-pressão

No CP 1 da amostra PI-1-AM 3-prof.3m optou-se por manter a contra-pressão, variando apenas o tempo para iniciar as verificações. Mesmo com a contra-pressão relativamente baixa (aproximadamente 180 kPa), esse corpo de prova foi deixado a um tempo de 10 dias de saturação, sendo que na primeira verificação obteve o valor de B igual a 0,87. Esse corpo de prova foi deixado por mais um dia em processo de saturação, sendo que o valor de B verificado foi de 0,88. Ou seja, mantendo-se a mesma contra-pressão, em um determinado tempo, não é possível afirmar que de fato ocorre um aumento do parâmetro B.

Os valores finais obtidos para o parâmetro B em cada corpo de prova ensaiado estão apresentados na Tabela 3. Para uma avaliação do comportamento do parâmetro, na Tabela 2 está apresentada a média e o desvio padrão das amostras analisadas.

A amostra Tal. 2-AM.1-prof. 0,5m. apresentou um valor médio relativamente baixo se comparado às demais amostras. O parâmetro B médio foi de 0,8167 mesmo com contra-pressões maiores que 300 kPa. No entanto, analisando a Figura 4, um dos corpos de prova obteve o valor de B igual a 0,93, e este foi levado a contra-pressão de 500 kPa.

Tabela 2 – Parâmetro B de Skempton para as amostras analisadas

Amostra	Parâmetro B	
	Média	Desvio Padrão
Tal. 4– AM. 1-prof. 0,5 m	0,9328	0,0465
Tal. 2– AM. 1-prof. 0,5 m	0,8167	0,0302
PI-1 – AM 1-prof. 1 m	0,8916	0,0507
PI-1 – AM 2-prof. 2 m	0,9205	0,0313
PI-1 – AM 3-prof. 3 m	0,9090	0,0183

Tabela 3 – Resumo dos corpos de prova dos ensaios triaxiais

Amostra	CP	σ_3^0 (kPa)	e_0	γ_h (kN/m ³)	Sr_0 (%)	B
Tal. 4 – AM-1-prof. 0,5m.	1	20,36	1,20	1,623	78	0,973
	2	-	1,15	1,623	74	0,987
	3	149,9	1,05	1,697	80	0,930
	4	299,1	1,15	1,606	71	0,885
	5	-	1,32	1,547	72	-
	6	77,0	1,23	1,637	75	0,889
Tal. 2 – AM-1-prof. 0,5m.	1	20,06	1,33	1,552	72	0,808
	2	80,71	1,46	1,493	69	0,788
	3	149,4	1,38	1,541	73	0,859
	4	-	1,36	1,535	71	0,811
	5	340,2	1,32	1,547	70	0,938
	6	-	-	-	-	-
PI 1 – AM-1-prof. 1m	1	19,8	0,93	1,719	68	0,980
	2	59,7	0,86	1,773	71	0,881
	3	147,5	0,91	1,716	66	0,873
	4	299,6	0,94	1,662	58	0,852
	5	-	0,85	1,791	75	-
	6	349,0	0,82	1,738	58	0,871
PI 1 – AM-2-prof. 2m.	1	19,51	0,72	1,864	75	0,938
	2	79,85	0,87	1,722	63	0,884
	3	149,8	0,78	1,800	68	0,940
PI 1 – AM-3-prof. 3m	1	19,60	0,87	1,761	66	0,884
	2	79,10	0,80	1,824	71	0,910
	3	158,4	0,93	1,705	62	0,927
	4	299,6	0,81	1,800	67	0,916
	5	-	0,86	1,787	70	-

Com todas as observações realizadas, constata-se que existe uma influência significativa relacionada ao aumento da contra-pressão e a saturação do solo, durante a etapa de saturação nos ensaios triaxiais.

Holtz e Kovacs (1981) citam que se o esqueleto sólido for relativamente rígido, é possível que o parâmetro B seja menor do que 1, ainda que o grau de saturação seja 100%. Essa condição é possível, pois se C_{sk} for muito baixo (solo mais rígido) a relação entre C_v e C_{sk} torna-se muito alta, portanto, o B diminui.

A Tabela 4 apresenta alguns valores típicos de B para diferentes tipos de solos, além da faixa de valores obtida para as amostras analisadas.

Com as considerações realizadas neste trabalho, há possibilidade de que a rigidez da estrutura dos solos ou a cimentação das amostras analisadas são fatores que influenciam os valores de B inferiores a 1, observados nas amostras analisadas.

Tabela 4 – Valores teóricos de B para diferentes solos (modificado de Holtz e Kovacs, 1981)

Tipo de Solo	S = 100%	S = 99%
Solo mole, argila normalmente adensada	0,9998	0,986
Siltes e argilas compactadas; argilas pré-adensadas	0,9988	0,930
Argilas rijas pré-adensadas; areias com maior densidade	0,9877	0,51
Areias muito densas; argilas muito rijas sobre altas pressões confinantes	0,9130	0,10
Este trabalho - solo residual de gnaiss – silto arenoso	0,9866 (máximo)	0,7881 (mínimo)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais considerações e conclusões deste trabalho, estão apresentadas na sequência:

a) No processo de saturação, observou-se que os parâmetros B de Skempton não alcançaram valores iguais à 1. Em uma análise com todos os corpos de prova nos ensaios triaxiais, o valor médio máximo foi de 0,9328 para a amostra Tal. 4- AM.1-prof. 0,5 e 0,8167 para a amostra Tal. 2-AM.1-prof. 0,5m;

b) A obtenção de parâmetros de B inferiores a 1 pode ser explicada pela rigidez e cimentação da estrutura do solo (valor de C_{sk} relativamente baixo), tornando a relação entre C_v e C_{sk} alta, e consequentemente o valor de B menor que 1.

c) Através das observações realizadas neste trabalho, constata-se que existe uma influência significativa relacionada ao aumento da contra-pressão e a saturação do solo, durante a etapa de saturação nos ensaios triaxiais;

AGRADECIMENTOS

À empresa Zênite Engenharia, e ao Engenheiro Sidney Carvalho pelo apoio nos trabalhos de campo. Ao Professor Leto Momm, por ceder o terreno para a realização das pesquisas.

REFERÊNCIAS

- BISHOP, A.W.; HENKEL, D.J. (1962). The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test. Imperial College.
- BITTENCOURT, M.F.; BONGIOLO, E.M.; PHILIPP, R.P.; MORALES, L.F.G.; RUBERT, R.R.; MELO, C.L.; LUFT JR, J.L. (2008) “Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na região de Garopaba-Paulo Lopes, SC”. Revista Pesquisa em Geociências. Instituto de Geociências, UFRGS.
- GODOI, C.S. 2014. Caracterização Geomecânica de um Solo Residual de Gnaiss – Santo Amaro da Imperatriz, Santa Catarina. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- HOLTZ, R.D.; KOVACS W.D. (1981) An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice – Hall, New Jersey.
- KRUEGER, F. S. 2015. Caracterização física e mecânica de solo residual de gnaiss em Santo Amaro da Imperatriz/SC. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SATO, R.D.O. (2006) Investigação Hidrogeológica das Ocorrências Termas e Termo-Minerais da Região Centro-Sul da Borda Oriental do Estado de Santa Catarina e Possíveis Modelos Genéticos. Dissertação de Mestrado. USP.
- SKEMPTON, A.W. 1954. The Pore-Pressure Coefficients A and B. Géotechnique, 4.
- SKEMPTON, A.W. (1984) Selected Papers on Soil Mechanics by A. W. Skempton, F.R.S.”. Thomas Telford Limited.London.