

Referências bibliográficas

AGNELLI, N.; ALBIERO, J. – **Aspectos Físicos, Químicos e Mecânicos de um Solo Colapsível, Inundado com Diferentes Líquidos**. *Solos e Rochas, Revista Brasileira de Geotecnia*, vol. 18, nº 1, p. 77-95, 1997.

ANANDARAJAH, A.; ZHAO, D. – **Triaxial Behavior of Caolinite in Different Pore Fluids**. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 126 (feb), nº 2, p. 148-156, 2000.

BARRETO, F. C.; FERREIRA, R. S.; MENEZES, M. S. S. – **Expansão de Silte Argiloso em Contato com Solução de Soda Cáustica**”. *Solos e Rochas, Revista Brasileira de Geotecnia*, vol. 5, nº 2 (agosto), p. 33-43, 1982.

BAWA, K. S. - **Laterite Soils and Their Engineering Characteristics**. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, vol. 83, nº SM 4, p. 1428-1 – 1428-15, 1957.

BISHOP, A. W.; HENKEL, D. J. – **The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test**. London, Edward Arnold, p. 228, 1962

BJERRUM, L. – **Progressive Failure in Slopes of Over-consolidated Plastic Clay and Clay Shales**. *Journal Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, vol. 95, nº SM 5, p. 3-49, 1967.

BOHN, H. L.; McNEAL, B. L.; O’CONNOR, G.A. – **Soil Chemistry**. Wiley-Interscience, 2^a ed., p. 92-93, New York, 1985.

BRANT, F. A. C. – **Propriedades Físicas, Químicas, Mineralógicas e Mecânicas de um Perfil de Solo Residual Basáltico Localizado em um Corte da Ferrovia Norte-Sul, no Estado de Tocantins**. *Dissertação de Mestrado*, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro – RJ, p.153, 2005.

BRANCUCCI, A.; COVIELLO, R.; Di MAIO, C. – **Influenza Della Costante Dieletrica Del Fluido Interstiziale Sul Comportamento Dei Terreni Argillosi.** *Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica* – IARG, Potenza, Itália, p. 18-20, 2003.

BRENNER, R. P.; GARGA, V. K.; BLIGHT, G. E. – **Shear Strength Behavior and Measurement of Shear Strength in Residual Soils.** In: BLIGHT, G. E., *Mechanical of Residual Soils*, Brookfield: Ed. Balkema, Roterdã, 1997.

BRITO, A. T. A. – **Estudo Químico e Mineralógico de um Perfil de Alteração de Gnaiss Migmatítico do Campo Experimental da PUC-RJ, Gávea, Rio de Janeiro.** *Dissertação de Mestrado*, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, p. 283, 1981.

CASANOVA, F.J.O.C. – **Eletroquímica e Propriedades Mecânicas dos Solos.** *II Colóquio de Solos Tropicais e Subtropicais e Suas Aplicações em Engenharia Civil*, CPGEC/UFRGS, p. 43-58, Porto Alegre, 1989.

CLARET, F.; BAUER, A.; SCHÄFER, T.; GRIFFAULT, L.; LANSON, B. – **Experimental Investigation of the Interaction of Clays with High-pH Solutions: A Case Study from the Callovo-Oxfordian Formation, Meuse-Haute Marne Underground Laboratory (França).** *Clays and Minerals*, vol. 50, nº 5, p. 633-646, 2002.

COSTA JÚNIOR, F. A. – **Estudo da Influência da Infiltração de Soda Cáustica nas Características de Resistência de um Solo Laterítico.** *Dissertação de Mestrado*, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro-RJ, p.108, 2001.

CRUZ, P.T. – **100 Barragens Brasileiras – Casos Históricos, Materiais de Construção e Projeto.** 1ª ed., Oficina de Textos, São Paulo, 1996.

D' APPOLONIA, D. – **Soil-Bentonite Slurry Trench Cuttofs.** *Journal of the Gootechnical Engineering Division*, vol. 106, nº 4, p. 399-417, 1980.

DE CAMPOS, T. M. P.; CARRILLO, C. W. – **Direct Shear Testing on a Unsaturated Soil from Rio de Janeiro.** *Proc. Unsaturated Soils*, vol. 1, p. 31-38, Paris, 1995

DE CAMPOS, T.M.P; HERNANDEZ, M.P.; DE CAMPOS, A.C.S.L.; ARARUNA Jr., – **Áreas de Disposição de Resíduo de Bauxita da Alcoa - Poços de Caldas: Características Ambientais, Geológico-Geotécnicas e Hidrogeológicas.** Relatório de Pesquisa do Núcleo de Geotecnia Ambiental do Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004.

DEERE, D. U.; PATTON, F.D. – **Slope Stability in Residual Soils.** *Proc. of the IV Panamerican Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 1, p. 87 – 179, San Ruan, Porto Rico, 1971.

DESAI, M. D. – **Geotechnical Aspects of Residual Soil of India.** BRAND, E. W. e PHILLIPSON, H. B. (ed.), *Sampling and Testing of Residual Soils – A Review of International Practice*, Hog Kong, Scorpion Press, 1985.

EMBRAPA – **Manual de Métodos de Análise de Solo.** *Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS*, 2ª ed., Rio de Janeiro, 1997.

Enviro-Tec – **Comprehensive Environmental Diagnostic of the ALCOA Alumínio S.A. Fábrica de Alumínio Located in Poços de Caldas, MG – Brazil.** *Relatório ALCOA-PFA-013 produzido pela Enviro-Tec Consultoria e Tecnologia Ambiental Ltda*, 2001.

FONSECA, A. P. – **Análise de Mecanismos de Escorregamento Associados a Voçorocamento em Cabeceira de Drenagem na Bacia do Rio Bananal (SP/RJ).** *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2006.

FRAENKEL, M. O.; SANTOS, R. C.; LOUREIRO, F. E. L.; MUNIZ, W. S.– **Jazida de Urânio no Planalto de Poços de Caldas, Minas Gerais.** In: *Os Principais Depósitos Minerais do Brasil*, vol. 1, p.89-103, 1985.

FRANKLIN, M. C. – **Modelagem Hidrogeoquímica da Geração de Drenagem Ácida e da Dispersão de Poluentes a Partir de Rejeitos Piritosos de Mineração. Estudo de Caso: A Mina de Urânio de Poços de Caldas.** *Projeto de Tese de Doutorado*, Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

FRASCÁ, M. H. B. O.; SARTORI, P. L. P. – **Minerais e Rochas.** Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A. (editores), *Geologia de Engenharia*, 1ª ed., Cap. 2, ABGE, São Paulo, 1998.

FUTAI, M. M. – **Estudo Teórico Experimental do Comportamento de Solos Tropicais Não-Saturados: Aplicação a um Caso de Voçorocamento.** *Tese de doutorado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro-RJ 2002.

GEOTÉCNICA – **Ensaio de Laboratório.** *Relatório Técnico submetido à ALCOA Alumínio S.A – Poços de Caldas-MG*, elaborado pela Geotécnica Engenharia, 2001.

GRIM, R. E. – **The Clay Mineral Concept.** *American Ceramic Society Bulletin*, n. 44, p. 687, 1965.

GROUND – **Área de Resíduos de Bauxita – Investigações Geotécnicas.** *Relatório Técnico submetido à ALCOA Alumínio S.A – Poços de Caldas-MG*, elaborado pela Ground Engenharia, 1996.

HEAD, K. H. - **Manual of Soil laboratory Testing: Effective Stress Tests.** ELE International Limited, 1ª ed., vol. 3, Londres, p. 495, 1986.

HEAD, K. H. – **Manual of Soil laboratory Testing: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests.** ELE International Limited, 2ª ed., vol. 2, Londres, p. 747, 1988.

IGNATIUS, S. G.; SOUZA PINTO, C. – **Aspectos do Comportamento de um Solo em Presença de Efluente Químico a Base de Soda Cáustica.** // *Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos.* Rio de Janeiro-RJ, p. 233-241, 1991.

ILCHENKO, V.; GUIMARÃES, D. – **O Processo de Decomposição das Rochas Alcalinas do Planalto de Poços de Caldas – Estado de Minas Gerais**. Boletim de Agricultura da Secretaria da Agr. do Estado de Minas Gerais, nº 3/4, 1954.

JOHAS, R. A. L.; CLAESSEN, M. E. C.; DURIEZ, M. A. M. – **Amorfos: Identificação por Diferentes Metodologias em Alguns Solos do Acre**. *Boletim de Pesquisa da EMBRAPA*, ISSN 1415-3750, nº 3, 1997.

JOSEFACIUK, G.; MURANYI, A.; ALEKSEEVA, T. – **Effect of Extreme Acid and Alkali Treatment on Soil Variable Charge**. *Geoderma*, nº 109, p. 225-243, 2002.

KUMAPLEY, N. K.; ISHOLA, A. – **The Effect of Chemical Contamination on Soil Strength**. *Proc. of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 3, São Francisco, p. 1199-1201, 1985.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. – **Soil Mechanics**. New York, John Wilwy & Sons, p.553, 1979.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. – **Geologia Geral**. CUNHA, A. B. (ed.), Companhia Editora Nacional, São Paulo-SP, vol. 1, p. 512, 1966.

LEROUEIL, S.; VAUGHAN, P. R. – **The General and Congruent Effects of Structure in Natural Clays and Weak Rocks**. *Géotechnique*, vol. 40, nº 3, p. 467-488, 1990.

LPS – **Hidrologia da Área da Fábrica e dos Lagos**. *Relatório Técnico submetido à ALCOA Alumínio S.A – Poços de Caldas-MG*, elaborado pela LPS Engenharia LTDA, 1993.

LPS – **Estudo das Condições de Estabilidade do Dique do Lago 3**. *Relatório Técnico submetido à ALCOA Alumínio S.A – Poços de Caldas-MG*, LPS Engenharia LTDA, 1995.

MACCARINI, M. – **Ensaio Triaxiais e de Cisalhamento Direto no Solo Residual Gnaissico Jovem do Campo Experimental da PUC-RJ, Gávea-RJ**.

Dissertação de Mestrado – Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro-RJ, p. 254, 1980.

MARTINS, A.P.S. – **Estudo da Influência das Interações Físico-químicas no Comportamento de Dois Solos Tropicais do Município de Ouro Preto – MG.** *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2005.

MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. – **Geological and Magmatic Aspects of the Paraná Basin – an Introduction.** In: PICCIRILLO E. M. e MELFI, A. J. (ed.). *The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin, Petrogenetic and Geophysical Aspects*, cáp. 1, p. 1-13, 1988.

MITCHELL, J. K. – **Fundamentals of Soil Behavior.** John Wiley and Sons, 1^a ed., Nova Iorque, 1976

MITCHELL, J.K. – **Fundamentals of Soil Behavior.** John Wiley and Sons, 2^a ed., Nova Iorque, p. 422, 1993.

MONCADA, M. P. H. – **Estudo em Laboratório de Características de Colapso e Transporte de Solutos Associados à Infiltração de Licor Cáustico em um Solo Laterítico.** *Dissertação de Mestrado* – Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro-RJ, 2004.

MONCADA, M. P. H. – **Consulta pessoal**, 2005.

MOREIRA, F.R.S. – **Uso e Avaliação de Técnicas de Integração e Análise Espacial de Dados em Pesquisa Mineral Aplicadas ao Planalto de Poços de Caldas.** *Dissertação de Mestrado* – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos - SP, 2001.

NADLER, A; FRENKEL, H – **Determination of Soil Solution Electrical Conductivity from Bulk Soil Electrical Conductivity Measurements by the Four Electrode Method.** *Soil Science Society of America Journal*, vol. 44, n. 5, p. 1216-1221, 1980.

NBR 6457/84 – **Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização.** ABNT, 1984.

NBR 6459/84 – **Solo - Determinação do Limite de Liquidez.** ABNT, 1984.

NBR 7180/84 – **Solo - Determinação do Limite de Plasticidade.** ABNT, 1984.

NBR 7181/84 – **Solo – Análise Granulométrica.** ABNT, 1984.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. – **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos.** Editora Villibor, vol. 1, São Paulo-SP, 1995.

OLIVEIRA, C. P. – **Estudo do Comportamento Tensão-Deformação-Resistência de um Solo Residual de Biotita Gnaiss Saturado.** *Dissertação de Mestrado* – Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro - RJ, p.114, 2004.

PASTORE, E.L. – **Massas Saprolíticas para Fundações de Barragens de Concreto.** *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 1992.

PASTORE, E. L. – **Weathering Profiles.** *X Pan-American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Guadalajara, 1995.

PAVILONSKI, V. M. – **Varying Permeability of Clayey Soils Linings.** *Proc. of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 3, São Francisco, p. 1213-1216, 1985.

RIGO, M. L. – **Resistência ao Cisalhamento Residual de Alguns Solos Saprolíticos de Basalto do Estado do Rio Grande do Sul.** *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS , Porto Alegre-RS, p. 134, 2000.

SANDRONI, S. S. – **The Shear of Young Residual Soils.** *Thesis Master of Science.* Imperial College of Science & Technology, Londres, vol. 1, p. 75, 1974.

SANDRONI, S. S. – **Young Metamorphic of Residual Soils.** *Proc. of the IX COPAMSEF*, vol. 4, Viña Del Mar, 1991.

SANTOS, P. S. – **Tecnologia de Argilas Aplicada às Argilas Brasileiras.** Editora Edgard Blucher, vol. 1, p. 340, 1975.

SANTOS, J. P. – **Determinação do Teor de Ilita em Argilominerais Interestratificados a partir da Análise do Potássio Total.** *Sientienbus*, nº 18, p. 127-141, Feira de Santana – BA, 1998

SAVAGE, D; NOY, D. e MIHARA, M. – **Modelling the Interaction of Bentonite with Hyperalkaline Fluids.** *Geochemistry*, nº 17, p. 207-223, 2002.

SHIDHARAN, A.; RAO, S. M.; MURTHY, N.S. – **Physico-Chemical Effect on Compressibility of Tropical Soils.** *Soil and Foundations*, vol. 32, nº 4, p. 156-163, 1992.

SILVA, T. R. M. – **Caracterização e Erodibilidade dos Solos de uma Voçoroca de Ouro Preto, Minas Gerais.** *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, 2000.

SIMONS, H.; REUTER, E. – **Physical and Chemical Behavior of Clay-Based Barriers Under Percolation with Test Liquids.** *Engineering Geology*, nº 21, p. 301-310, 1985.

SKEMPTON, A. W. – **The Colloidal Activity of Clays.** *Proc. Of the 3rd Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Zurique, 1953.

SOUZA NETO, J. B. – **Características Geotécnicas do Solo Residual de Gnaisse da Encosta Espinhaço da Gata, Machados-PE.** *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife-PE, p. 250, 1998.

TANAKA, A. – **Algumas Considerações sobre a Resistência ao Cisalhamento do Solo Residual de Basalto de São Simão.** *Dissertação de Mestrado*, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro-RJ, p. 145, 1976.

TAQIEDDIN, S.; AL-HOMOUND, A. S.; THOMAS, A. – **Physico-Chemical Aspects of Shear Strength of an Illitic Clay**. Solos e Rochas, Revista Brasileira de Geotecnia, vol. 18, nº 1, p. 19-30, 1995.

TAUBALD, H.; BAUER, A.; SCHÄFER, T.; GECKEIS, H.; SATIR, M.; KIM, J. I. – **Experimental Investigation of the Effect of high-pH Solutions on the Opalinus Shale and Hammerschmiede Smectite**. *Clay Minerals*, nº 35, p. 515-524, 2000.

VARGAS, M. – **Some Engineering Properties of Residual Clay Soils Occurring in Southern Brazil**. *Proc. of the III ICSMFE*, Zurich, vol. 1, p. 67-71, 1953.

VARGAS, M. – **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1981.

VARGAS, M. – **O Uso dos Limites de Atterberg na Classificação dos Solos Tropicais**. *Anais do VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, ABMS, Olinda/Recife-PE, vol. 5, p. 262-278, 1982.

VARGAS, M. – **Identification and Classification of Tropical Soils**. *Proc. of the US/Brazil Geotechnical Workshop on Applicability of Classical Soil Mechanics Principles to Structured Soils*, Belo Horizonte - MG, p. 200-205, 1992.

VAUGHAN – **Mechanical and Hydraulic Properties of In-Situ Residual Soils**. *Proc. of the I International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils (TROPICAL'S 85)*, vol. 3, p. 231-263, Brasília, 1985.

VILLAR, L. F. S. - **Estudo do Adensamento e Ressecamento de Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita**. *Tese de doutorado*, Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro-RJ, 2002.

YOUNG , N. R. – **Geoenvironmental Engineering: Contaminated Soils, Pollutant Fate and Mitigation**. CRC Press LLC, 2001.

WAN, Y.; KWONG, J.; BRANDES, H. G.; JONES, R. C. – **Influence of Amorphous Clay-Size Materials on Soil Plasticity and Shrink-Swell Behavior.** *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 128 (December), nº 12, p. 1026-1031.

WESLEY, L. D. - **Influence of Structure and Composition on Residual Soil.** *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, vol.116, nº 4, p. 589-603, 1990.

WHITE, W. A. – **Clay Materials and Structural Clay Products.** Amer. Ceram. Soc. Bull., vol 44, p. 663, 1965

Apêndice I

Características do licor cáustico

Na Tabela AI.1 são apresentadas as características químicas do licor.

Tabela AI.1 – Características químicas do licor cáustico

Propriedades químicas do licor	
pH	13,50
Alcalinidade (mg/l)	28958,20
Condutividade elétrica (ms/cm)	22,89

Villar (2002) fez análise química da lama (resíduo de mineração da bauxita) de Poços de Caldas (ver Tabela AI.2) . No presente trabalho, utilizou-se o fluido que fica na superfície dos lagos de disposição após a decantação de boa parte dos sólidos que compõem a lama. Por isso, as porcentagens encontradas pelo autor não refletem as do licor aqui empregado, mas espera-se que este contenha os mesmo componentes que a lama.

Tabela AI.2 – Análise químico-mineralógica do resíduo de mineração da bauxita de Poços de Caldas (Villar, 2002)

Elemento	Concentração (%)
SiO ₂	18,50
Al ₂ O ₃	25,70
Fe ₂ O ₃	20,60
FeO	0,28
CaO	0,45
MgO	0,13
TiO ₂	2,80
P ₂ O ₅	0,26
Na ₂ O	9,40
K ₂ O	2,40
MnO	0,32
F	0,20
Cl	0,68
Perda ao fogo	13,20
Soma total	98,98

Apêndice II

Coeficientes de adensamento e permeabilidade do solo residual

Neste apêndice, são apresentados os valores dos coeficientes de adensamento (C_v) obtidos nos ensaios triaxiais (solo residual) e nos ensaios de cisalhamento direto (solo coluvionar). No último item, é mostrada a permeabilidade do solo residual jovem obtida no ensaio triaxial.

AII.1.

Coeficiente de adensamento – Solo residual

Os valores de C_v foram calculados com base na formulação proposta por Head (1986) para ensaios triaxiais:

$$C_v = (\pi D^2) / (\lambda t_{100})$$

Onde:

D = diâmetro do corpo de prova;

λ = fator que indica as condições de drenagem;

t_{100} = tempo correspondente a 100 % do recalque, calculado conforme mostrado no capítulo 4, item 4.4.2.7.

Como todos os corpos de prova tinham a relação altura/diâmetro igual a 2 e a drenagem durante a fase de adensamento era realizada no topo e na base, o valor de λ é igual a 4 em todos os ensaios.

Os valores de t_{100} e C_v são apresentados na Tabela A.1.

Tabela AII.01. Valores de C_v calculados nos ensaios triaxiais (solo residual)

Fluido de saturação	σ'_c (kPa)	t_{100} (minutos)	C_v (cm ² /s)
Água	25 (a)	-	-
	25 (b)	-	-
	50	0,31	0,61
	77	0,27	0,70
	100	0,30	0,63
	200 (a)	0,45	0,42
	200 (b)	0,12	1,55
Licor	25	0,64	0,30
	50 (a)	1,21	0,16
	50 (b)	1,21	0,16
	100	1,21	0,16
	200	2,89	0,07
	400	5,29	0,04

AII.2.**Coeficiente de adensamento – Solo coluvionar**

Os coeficientes de adensamento calculados a partir dos ensaios de cisalhamento direto, realizados com solo coluvionar, foram estimados a partir da formulação proposta por Head (1986):

$$C_v = (0,103H^2) / (t_{100}) \text{ m}^2/\text{ano}$$

Onde:

H = altura do corpo de prova (mm);

t_{100} = tempo correspondente a 100 % do recalque (em minutos), calculado conforme mostrado no capítulo 4, item 4.4.2.7.

Tabela AII.02. – Valores de C_v calculados nos ensaios de cisalhamento direto (solo coluvionar)

Fluido	σ'_c (kPa)	t_{100} (minutos)	C_v (10 ⁻² cm ² /s)
Água	25	0,30	4,35
	50	0,16	8,17
	100	0,09	14,52
Licor	25	16,00	0,08
	50	0,13	10,05
	100	0,25	5,23

AII.3. Permeabilidade do solo residual

A permeabilidade do solo residual foi obtida durante o ensaio triaxial realizado com uma tensão confinante igual a 50 kPa. Após a fase de saturação, foi imposto um gradiente hidráulico (i) igual a 10. Em seguida, foi medido o volume de água que percolava a amostra ao longo do tempo (Figura A.1). Com o auxílio deste gráfico obteve-se o valor da vazão (Q). A permeabilidade foi obtida através da fórmula:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

Onde:

Q = vazão em cm^3/s ;

i = gradiente hidráulico;

A = área do corpo de prova (cm^2).

k = permeabilidade do solo (cm/s).

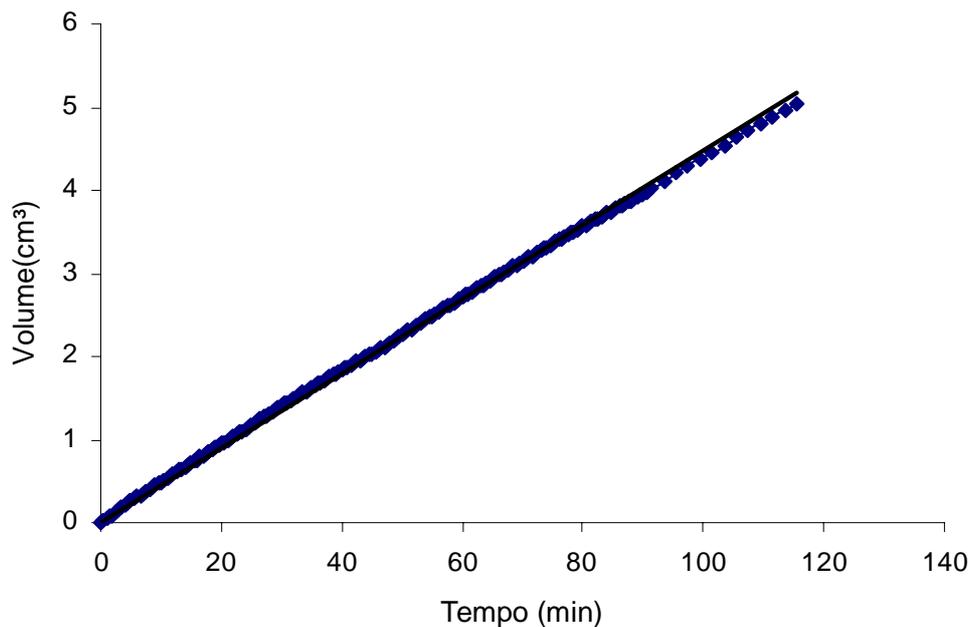


Figura 0A.1 – Gráfico volume x tempo utilizado para o cálculo da permeabilidade do solo residual

A permeabilidade obtida foi de $6,2 \times 10^{-6}$ cm/s , valor bastante próximo do encontrado no ensaio edométrico por correlação.

Anexo I

Cálculo do teor dos minerais: ilita, caulinita e gibbsita

Os teores dos minerais ilita, caulinita e gibbsita foram calculados com base na metodologia proposta por Santos (1998). Ele sugere que a porcentagem de ilita seja determinada com base na concentração de K_2O , no entanto, o solo não pode conter feldspatos potássicos. São utilizados os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e K_2O obtidos no ensaio de análise química total.

Nesta dissertação, não foram utilizados os dados de análise química total devido à presença de sercicit, mineral com estrutura semelhante a da ilita. Optou-se por trabalhar com os dados da análise química seletiva por ataque sulfúrico, pois neste ensaio o teor de potássio encontrado corresponde ao presente na ilita.

A fórmula estrutural padrão da ilita utilizada foi:

- $(K_2O)_p = 8 \%$;
- $(SiO_2)_p = 56 \%$;
- $(Al_2O_3)_p = 18,50 \%$;
- $(H_2O)_p = 5,98 \%$.

O procedimento é o seguinte: Todo K_2O da amostra é atribuído à ilita. Determina-se a porcentagem de ilita da amostra pela relação $(K_2O)_x/(K_2O)_p$. Ao invés de trabalhar com o teor de alumina, como sugerido pelo autor, utilizou-se o teor de sílica, pois esta não se encontra na gibbsita. O SiO_2 da ilita da amostra é determinado multiplicando o teor de ilita pelo teor $(SiO_2)_p$. Estima-se o teor de SiO_2 da caulinita pela diferença entre o SiO_2 total e o SiO_2 da ilita. A caulinita da amostra é obtida dividindo o seu teor de (SiO_2) pelo teor deste componente na caulinita pura (46,5 %). Estima-se o teor de gibbsita subtraindo as porcentagens de ilita e caulinita de 100 %. Tem-se então:

$(K_2O)_x$ – potássio da ilita;

$(SiO_2)_i$ – sílica da ilita;

$(SiO_2)_c$ – sílica da caulinita;

$(SiO_2)_t$ – sílica total.

Logo:

$$\text{Teor de illita} = [(K_2O)_x / (K_2O)_p] \cdot 100;$$

$$\text{SiO}_2 \text{ da illita} = [(K_2O)_x / (K_2O)_p] \cdot (SiO_2)_p;$$

SiO_2 da caulinita = $(SiO_2)_t - (SiO_2)_i$ (já que a gibbsita não possui sílica em sua composição);

$$\text{Teor de caulinita} = \{[(SiO_2)_t - (SiO_2)_i] / 46,5\} \cdot 100;$$

$$\text{Teor de gibbsita} = 100 - \text{teor de caulinita} - \text{teor de illita}.$$

Anexo II

Correção da tensão desviadora após a ruptura (ensaios triaxiais)

Os corpos de provas, nos ensaios triaxiais CIU e CID, romperam formando plano, tanto nos ensaios realizados com solo natural como nos executados com solo contaminado. Por isso, foi necessário corrigir os valores da tensão desviadora após a ruptura. As correções foram feitas tanto para a mudança de área, que diminui ao longo do tempo após a ruptura, como para a membrana, que passa a colaborar de maneira significativa na resistência. A metodologia utilizada foi a sugerida por Head (1986).

Quando ocorre ruptura com formação de plano, a área do plano de cisalhamento, usada para calcular a tensão desviadora, diminui com o movimento entre os planos. O mecanismo é ilustrado na Figura ANII.1. A sobreposição da superfície elíptica de deslizamento (Figura ANII.1 (b)) pode ser projetada verticalmente o que dá o segmento de área no plano, como mostrado na Figura ANII.1 (c).

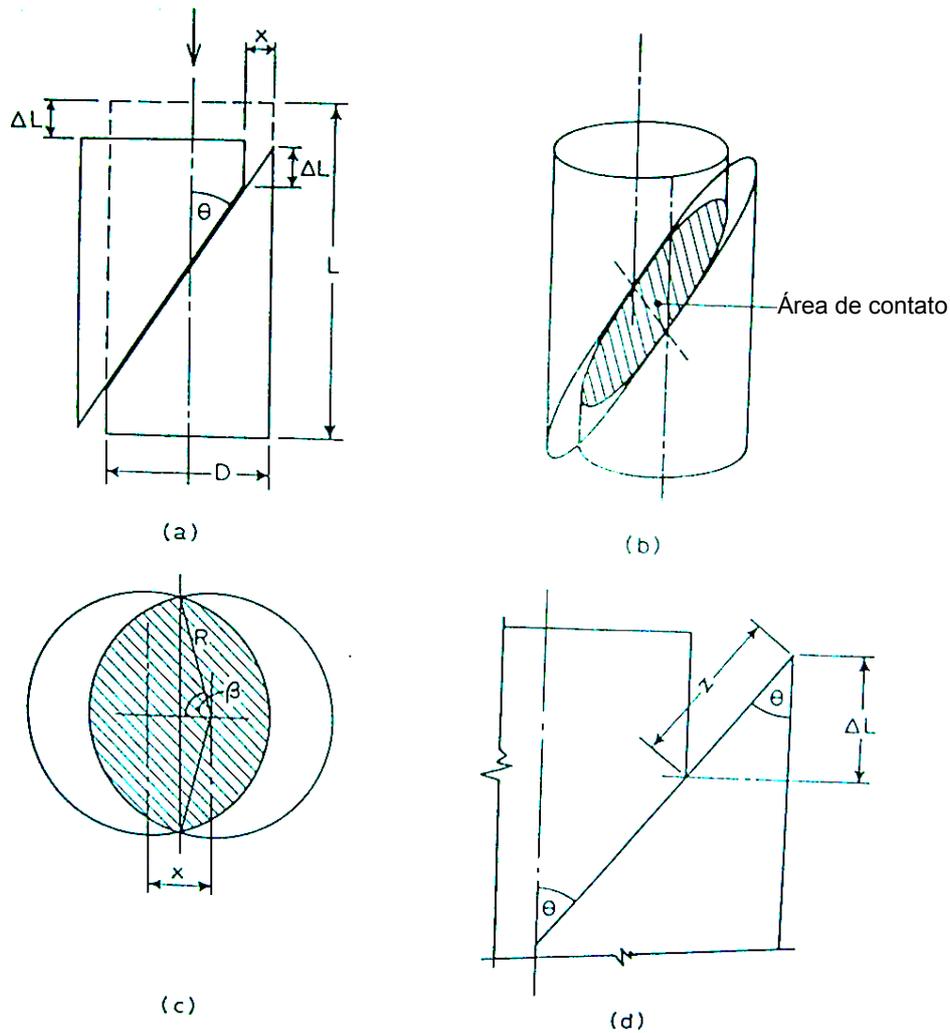


Figura 0.1 – Correção da área devido à formação de plano na ruptura: a) mecanismo de deslizamento, b) Área de contato entre as duas porções da amostra, c) projeção da área de contato, d) deslocamento ao longo da superfície de ruptura relacionado com a deformação vertical

Através de relações trigonométricas obtém-se:

$$\cos(\beta) = \varepsilon_s (L/D) \tan(\theta)$$

Onde:

ε_s = deformação axial medida a partir da formação do plano;

L = altura inicial do corpo de prova;

D = diâmetro do corpo de prova;

θ = ângulo formado entre o plano e a direção vertical.

Para obter as tensões desviadoras corrigidas devido à variação de área, multiplica-se os valores destas pelo fator de correção que é dado por:

$$f_s = \pi/2(\beta - \sin\beta \cdot \cos\beta), \text{ sendo } \beta \text{ em radianos.}$$

Como já mencionado, os valores das tensões desviadoras também foram corrigidos devido à ação da membrana. Head (1986) sugere o uso de curvas obtidas através das equações de La Rochelle (1967), mostradas na Figura ANII.2 (a). A relação mostrada nestas curvas é baseada na formação de um plano de ruptura com θ igual a 35° , corpo de prova com diâmetro de 38 mm e altura de 76 mm e membrana de borracha com espessura de 0,2 mm (valores estes similares aos deste trabalho).

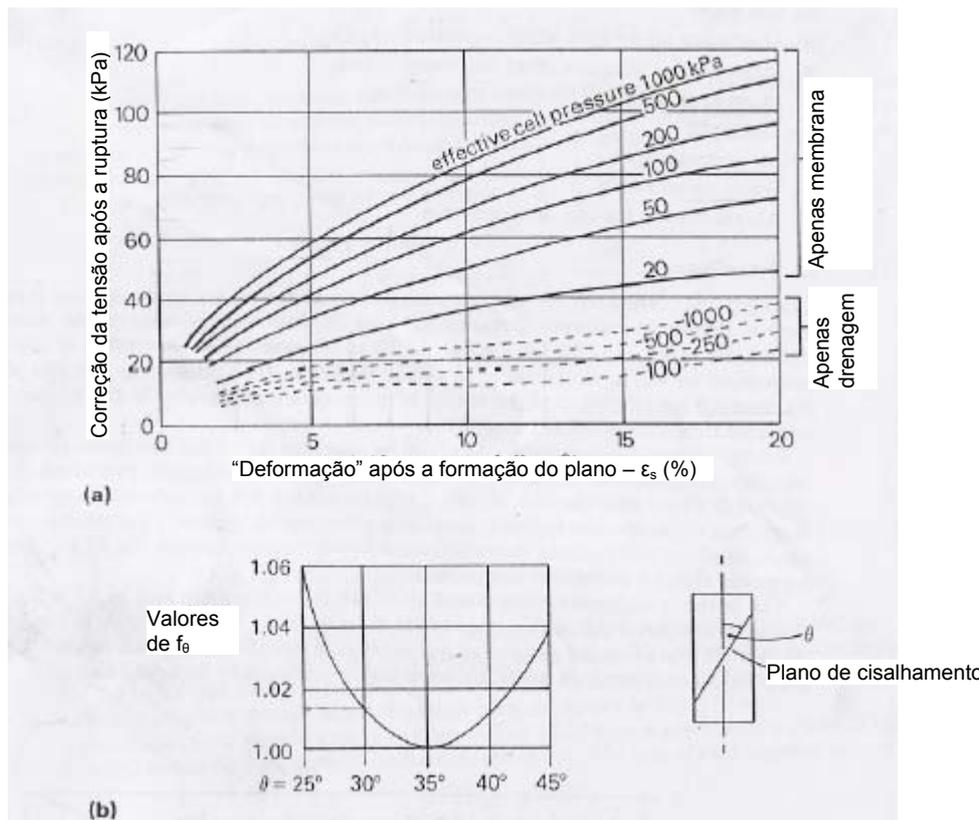


Figura 0.2 - Correções devido à membrana e drenagem (ensaios triaxiais com ruptura formando plano): a) Curvas de correção e equação geral, b) valores do fator f_θ para várias inclinações do plano de ruptura

As pressões indicadas nas curvas são as tensões efetivas de confinamento utilizadas nos ensaios. As “deformações” se referem ao deslocamento vertical que ocorre quando as duas partes deslizam entre si. Já que os corpos de prova romperam formando ângulos variados com a vertical, os valores obtidos por meio da Figura ANII.2 (a) foram corrigidos de acordo com o valor de θ de cada ensaio, com auxílio da Figura ANII.2 (b).

Em alguns ensaios não foi medido o ângulo θ , nestes casos adotou-se um valor de θ médio, obtido pela média de todos os ensaios onde este foi mensurado. Os valores de θ encontrados giraram em torno de 30° .