

Referências Bibliográficas

ABRAMENTO, M.; CARVALHO, C. S. Geotechnical parameters for the study of natural slopes instabilization at 'Serra do Mar', Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING. 12. 1989, Rio de Janeiro, RJ. **Proceedings ...** Rotterdam: A. A. Balkema, 1989, v.4, p. 1599-1602.

ABRAMENTO, M. **Resistência ao Cisalhamento de Solos Não Saturados: Considerações Teóricas e Estudo Experimental sobre Solo Coluvionar das Encostas da Serra do Mar.** Dissertação de Mestrado, EPUSP/SP, São Paulo, 175p. 1988.

AITCHISON, G. D. Relationships of Moisture Stress and Effective Stress Functions in Unsaturated Soils. In: CONFERENCE ON PORE PRESSURE AND SUCTION IN SOILS, 1. 1960, London, England. **Proceedings ...** London: Butterworths, 1961, p. 47-52. In: FREDLUND, D. G.; MORGENSTERN, N. R. Stress State Variables for Unsaturated Soils. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, v.103, n. GT5, 1977, p. 447-466.

AITCHISON, G. D. Review Panel Statement - Engineering Concepts of Moisture Equilibria and Moisture Changes in Soils. In: Conf. on Moisture Equilibria and Moisture Changes in Soil Beneath Covered Areas, 1. 1965, London, England. **Proceedings ...** London: Butterworths, 1965, p. 7-21.

AITCHISON, G. D. The quantitative description of the stress deformation behavior of expansive soils—preface to set of papers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXPANSIVE SOILS, 3. Haifa, Israel, 1973. **Proceedings ...** Haifa, Israel, 1973. v.2: p. 79–82.

ALONSO, E. E.; GENS, A.; HIGHT, D. W. Special Problems Soils, In: EUROPEAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, X. Dublin, Ireland, 1987. **Proceedings ...** Dublin, Ireland: General Report, 1987. Session 5, p. 5.1-5.60.

AMERICAM SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **D3080**: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, 1990, 6p.

AMERICAM SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **D5298**: Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper, 1992, vol. 15.09, p. 264-268.

ANTUNES, F. S. **Comunicação pessoal.** 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988.

BENEVELI, R. M. **Estudo dos Efeitos de Umedecimento e Secagem na Resistência ao Cisalhamento de um Solo Compactado em Laboratório**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio), Rio de Janeiro, 2002, 182p.

BENEVELI, R. M.; DE CAMPOS, T. M. P. Efeitos de Secagem Seguida da Saturação na Resistência de um Solo Compactado em Laboratório, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS (ÑSAT'04), 5. São Carlos, SP, 2004. **Anais ...** São Carlos: Suprema Gráfica e Editora Ltda., 2004. v. 1, p. 9-13.

BISHOP, A. W. **The principle of effective stress**. Lecture delivered in Oslo, Norway, 1955. Published in Teknisk Ukeblad, 1959, 106(39), p. 859-863.

BISHOP, A. W.; ALPAN, I.; BLIGHT, G. E.; DONALD, I. B. Factors Controlling the Shear Strength of Partly Saturated Cohesive Soils, In: CONFERENCE ON SHEAR STRENGTH OF COHESIVE SOILS, X. 1960, Boulder Colorado, USA. **Proceedings ...** Boulder: Univ. of Colorado, 1960. p. 503-552.

BISHOP, A. W.; HENKEL, D.J. **The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test**. 2nd. ed. - London : E. Arnold, 1962. 227p.

BISHOP, A.W.; ELDIN, A.K.G. Undrained triaxial tests on saturated sands and their significance in the general theory of shear strength. **Geotechnique**, 2(1), 1950. p. 13-32.

BLIGHT, G.E. Aspects of capillary Model of Unsaturated Soils. In: ASIAN REG. CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 7. Haifa, Israel, 1983. **Proceedings ...** Haifa, 1983. v1, p. 1-7.

BOCKING, K. A.; FREDLUND, D.G. Limitations of the Axis-Translation Technique. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXPANSIVE SOILS, 4. Denver, Colorado, USA, 1980. **Proceedings ...** Denver: ASCE, 1980, Vol. I, p.117-135.

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. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio), 2005. 153p.

BRESSANI, L. A.; HORN, M. R.; BICA, A. V. D.; GEHLING, W. Y. Y. Estudo da Resistência ao Cisalhamento de um Solo Residual de Granito da Região de Porto Alegre, RS, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS (ÑSAT'97), 3. Rio de Janeiro, RJ, 1997. **Anais ...** Rio de Janeiro: Freitas Bastos Editora, 1997. v.1, p. 199-206.

BRIGGS, L. J. **The mechanics of soil moisture**. U.S. Dept. Agric. Bur. Of soils, Bull. Nº 10, 1897.

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. Hydraulic Properties of Porous Media. Colorado State Univ. Hydrol. 1964 Paper, n. 3, 27p.

CARVALHO, A. C. M. G. **Desenvolvimento de um Difusímetro para Solos Não Saturados**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001. 176p.

CHANDLER, R. J.; GUTIERREZ, C. I., The Filter Paper Method of Suction Measurement, **Geotechnique**, 36(2), 1986, p. 265-268.

CHANDLER, R.J.; CRILLY, M. S.; MONTGOMERY-SMITH, G. A Low-Cost Method of Assessing Clay Desiccation for low-rise buildings. **Proceedings of the Institute of Civil Engineering**. v.92. n.2, 1992, p. 82-89.

CHING, R. K. H.; FREDLUND, D. G. Increase in factor of safety due to soil suction for two Hong Kong slopes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 4. Toronto, Canada, 1984. **Proceedings...** Toronto: University of Toronto Press, 1984. p.617-623.

COZZOLINO, V. M. N. e NOGAMI, J. S. Classificação MCT para solos tropicais. **Solos e Rochas**, 16 (2), 1993, p. 77-91.

CRONEY, D.; Coleman, J. D.; Black, W. P. M. The movement and distribution of water in soil in relation to highway design and performance. Highway Research Board. **Special Report**, n.40, Washington, D.C., 1958.

DE CAMPOS, T. M. P. Equipamentos e Técnicas para a Determinação da Sucção no Campo. In: SIMPÓSIO SOBRE SOLOS NÃO SATURADOS (ÑSAT'94), 2. Recife, PE, 1994. **Anais...** Recife: AMSF(UFPE)/ABMS-NE, 1994. p. 9-18.

DE CAMPOS, T. M. P. Resistência ao cisalhamento de solos não saturados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS (ÑSAT'97), 3. Rio de Janeiro, RJ, 1997. **Anais ...** Rio de Janeiro: Freitas Bastos Editora, 1997. v.1, p. 399-417.

DE CAMPOS, T. M. P.; DELGADO, C. W. C. Direct Shear Testing on na Unsaturated Soil from Rio de Janeiro, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNSATURATED SOILS (UNSAT'95), 1. Paris, França, 1995. **Proceedings ...** Rotterdam: A. A. Balkema; Paris: Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1995. v.1, p. 31-38.

DE CAMPOS, T. M. P.; DELGADO, C. W. C.; TIBANA, S.; AGUILAR, S. A. S.; FONSECA, E.C. Determinação da Curva Característica de Sucção em Laboratório. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS (I COBRAE), 1. Rio de Janeiro, RJ, 1992. **Anais ...** Rio de Janeiro: Fundação Geo-Rio, 1992. v.III, p. 843-851.

DEER, W. A; ROWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais Constituintes das rochas – Uma Introdução** Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 1981, 727p. In: 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. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio), 2005. 153p.

DELAGE, P; VICOL, T.; SURAJ DE SILVA, G.P.R. Suction controlled testing of non-saturated soils with an osmotic consolidometer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXPANSIVE SOILS, Dallas, Texas, USA, 1992. **Proceedings ...** Lubbock: Texas Tech Univerity Press, 1992. p. 206-211.

DELGADO, C. W. C. **Resistência ao Cisalhamento dos Solos Coluvionares e Residuais Não Saturados da Vista Chinesa, RJ**. Dissertação de Mestrado,

Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC – Rio, Rio de Janeiro, RJ, 1993. 182p.

DELGADO, C. W. C.; FONSECA, E. C.; DE CAMPOS, T. M. P. Equipamento de cisalhamento direto com sucção controlada. In: SIMPÓSIO SOBRE SOLOS NÃO SATURADOS (NSAT'94), 2. Recife, PE, 1994. **Anais...** Recife: AMSF(UFPE)/ABMS-NE, 1994, p. 67-78.

DONALD, I. B. Shear strength measurement in unsaturated non-cohesive soils with negative pore pressure. In: AUSTRALIA-NEW ZEALAND CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUNDATION ENGINEERING, 2. Christchurch, New Zealand, 1956. Proceedings ... Christchurch: Canterbury University College, 1956. p.200-205.

DUARTE, A. P. L. **Avaliação de propriedade termo-hidráulicas de solos requeridas na aplicação da técnica de dessorção térmica.** Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio), Rio de Janeiro, RJ, 2004, 290p.

EDIL, T. B., MOTAN, S. E.; TOHA, F.X. **Mechanical Behavior and Testing Method of Unsaturated Soils.** Lab Shear Strength of Soils. 1981.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos. – 2. ed., 1997.

ESCÁRIO, V.; SÁEZ, J. The Shear Strength of Partly Saturated Soils. **Geotechnique**, 36 (3), 1986, p. 453-456.

FISHER, R. A. On the capillary forces in an ideal soil. **Journal of Agricultural Science**, 16, 1926, p. 492-505.

FONSECA, E. C. **Ensaio de Cisalhamento Direto Com Sucção Controlada em Solos Não Saturados.** Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio), Rio de Janeiro, 1991, 181p.

FREDLUND, D. G. Second Canadian Geotechnical Colloquium: Appropriate Concepts and Tecnology for Unsaturated Soils. **Canadian Geotechnical Journal**, 16(1), p. 121-139, 1979.

FREDLUND, D. G., RAHARDJO H. **Soil Mechanics for Unsaturated Soils.** John Wiley e Sons, USA, 1993, 539 p.

FREDLUND, D. G., RAHARDJO H.; GAN, J. K. M. Nonlinearity of Strength Envelope for Unsaturated Soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF EXPANSIVE SOILS, 6. New Delhi, India, 1987. **Proceedings ...** Rotterdam : A. A. Balkema, 1988-1991. p. 49-54.

FREDLUND, D. G.; MORGENSTERN, N. R. Stress State Variables for Unsaturated Soils. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, v.103, n. GT5, 1977, p. 447-466.

FREDLUND, D. G.; MORGENSTERN, N. R.; WIDGER, R. A. The Shear Strength for Unsaturated Soils. **Canadian Geotechnical Journal**, 15 (3), 1978, p. 313-321.

FREDLUND, D. G.; XING, A. Equations for the Soil-Water Characteristic Curve. **Canadian Geotechnical Journal**, 31 (3), 1994, p. 521-532.

FREDLUND, D.G.; XING, A.; FREDLUND, M.D.; BARBOUR, S.L. The relationship of the unsaturated soil shear strength to the soil-water characteristic curve. **Canadian Geotechnical Journal**. 33 (3), 1996, p. 440-448.

FREDLUND, D. G.; XING, A.; HUANG, S., Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil water characteristic curve. **Canadian Geotechnical Journal**, 31, 533-546, 1994.

FUTAI, M. M. **Estudo teórico-experimental do comportamento de solos tropicais não-saturados: aplicação ao mecanismo de voçorocamento**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro, 1991, 559 p.

FUTAI, M. M.; ALMEIDA, M. S. S.; LACERDA, W. A., Resistência ao Cisalhamento de Solos Tropicais Não-Saturados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS (ÑSAT'04), 5. São Carlos, SP, 2004. **Anais ...** São Carlos: SGS/EESC/USP, 2004. v.1, p. 43-54.

GALLEN, P. M. Measurement of soil suction using the paper method: a literatura review. **Final Report**, Internal Report, Transportation and Geotechnical Group, Department of Civil Engineering, University of Saskatoon, Saskatoon, Canada, 1985.

GAN, J. K. M.; FREDLUND, D. G., Multistage direct shear testing of unsaturated soils. **ASTM - Geotechnical Testing Journal**, 11 (2), 1988, p. 132-138.

GARVEN, E. A.; VANAPALLI, S. K. Evaluation of empirical procedures for predictions the shear strength of unsaturated soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNSATURATED SOILS (UNSAT'06), 4. Carefree, Arizona, USA, 2006. **Proceedings ...** Reston: ASCE press, 2006. v.2, p.2570-2581.

GIBSON, R. E.; HENKEL, D.J. Influence of Duration of Tests at Constant Rate of Strain on Measured Drain Strength. **Geotechnique**, 4 (1), p. 6-15, 1954.

GOOGLE Google Earth, version 4.0 (beta): satellite's image software. Disponível em <<http://earth.google.com/>> Acesso: 24 fev. 2006.

GOVE, P.B. (ed.) Webster's third New International Dictionary, G. & C. Merrian Co., Springfield, Massachusetts, 1967. In: FREDLUND, D. G.; MORGENSTERN, N. R. Stress State Variables for Unsaturated Soils. **Journal of the Geotechnical Engineering Division** v. 103, n. GT5, 1977, p. 447-466.

GREACEN, E. L.; WALKER, G. R.; COOK, P. G. Evaluation of the Filter Paper Method for Measurement Soils Water Suction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MEASUREMENT OF SOIL AND PLANT WATER STATUS. Logan, Utah, USA, 1987. **Proceedings ...** Logan: Utah State University, 1987, p. 137-143.

GREEN, A. E.; NAGHDI, P. M. A Dynamical Theory of Interacting Continua" **International Journal Engineering Science**. (Pergamon, London), Vol. 3 p. 231-241, 1965.

GULHATI, S. K.; SATIJA, D. J. Shear Strength of Partially Saturated Soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 10. Stockholm, Sweden, 1981. **Proceedings...**, Rotterdam: A. A. Balkema, 1981, p. 609-612.

HAINES, W. B. A note on the cohesion developed by capillary forces in an ideal soil. **Journal of Agricultural Science**, 15, 1925, p. 529-535.

HILF, J. W. An Investigation of Pore-Pressure in Compacted Cohesive Soils. Technical Memorandum, n. 654. Bureau of Reclamation U. S. Department of Interior, Denver, Colorado, 1956.

HILLEL, D. **Soil and water: Physical principles and process**, Academic Press, New York, USA, 1971.

HO, D. Y. F. Measurement of Soil Suction Using the Filter Paper Method. **Internal Report**, IR. 11, Transportation and Geotechnical Group., Dep. Of Civil Eng., Univ. of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, 90p., 1979.

HO, D. Y. F.; FREDLUND, D. G. Strain Rates for Unsaturated Soil Shear Strength Testing. In: SOUTHEAST ASIAN GEOTECHNICAL CONFERENCE, 7. Hong Kong, China, 1982. **Proceedings ...** Hong Kong, 1982, p. 787-803.

HOPMANS, J.W.; DANE, J.H., Temperature Dependence of Soils Hydraulic Properties, Soil Sci. Soc., **American Journal** 50, 1986, pp. 562-567 In: DUARTE, A. P. L. **Avaliação de propriedade termo-hidráulicas de solos requeridas na aplicação da técnica de dessorção térmica**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio), Rio de Janeiro, RJ, 2004, 290p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA Informações sobre o tempo e clima de todas as regiões do Brasil. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2006.

JENNINGS, J. E. A Revised Effective Stress Law for Use in the Prediction of the Behavior of Unsaturated Soils. In: CONFERENCE ON PORE PRESSURE AND SUCTION SOILS CONFERENCE. **Proceedings ...** London: Butterworths, 1961. p. 26-32.

JUCÀ, J. F. T. **Comportamiento de los solos parcialmente saturados bajo succión controlada**. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 1990. 244p.

KHAN, A. H. Evaluation of laboratory suctions tests by filter paper technique for prediction of heave in expansive soils, **Report** n. GM-81-001, Department of Civil Engineering, University of Western Australia, 1981.

LAMBE, T.W. A Mechanistic picture of shear strength in clay. In: CONFERENCE ON SHEAR STRENGTH OF COHESIVE SOILS. Boulder, Colorado, 1960. **Proceedings ...** Boulder: University of Colorado, 1960. p. 555-580.

LAMBE, T. W.; WITHMAN, R. V. **Soil mechanics, SI Version**. Ed. John Wiley & Sons, New York, USA, 1969.

LEONARDS, A. G. **Strength characteristic of compacted clays**. Transactions ASCE, Reston, VA, USA, 1955. n. 120, p. 1420-1454.

LEONG, E. C.; HE, L. & RAHARDJO, H. Factors Affecting the Filter Paper Method for Total and Matric Suction Measurements, **Geotechnical Testing Journal** 25 (3), 2002, p. 1-12.

LINS, A. H. P., **Resistência e Poro-Pressões Desenvolvidas em Um Solo Compactado Não Saturado em Laboratório**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro, 1991. In: SOARES, R. M. **Resistência ao Cisalhamento de um Solo Coluvionar Não Saturado do Rio de Janeiro, RJ**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio), Rio de Janeiro, RJ, 2005. 196p.

LYTTON, R. J. Foundations and pavements on unsaturated soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNSATURATED SOILS (UNSAT'95), 1. Paris, France. **Proceedings ...** Rotterdam: A. A. Balkema; Paris: Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1995. v.3, p. 1201-1220.

MALHEIROS, C. H. S. **Análise de Processos Geodinâmicos no Taquaril**. Monografia. Curso de Especialização em Geotecnia Ambiental (CEGEAMB),

Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, Escola de Engenharia da UFMG, 2005, 52p.

MARINHO, F. A. M. **Shrinkage behavior of some plastic soils**. Ph.D. Thesis in Soil Mechanics, University of London. Imperial College. Inglaterra, 1994.

MARINHO, F. A. M., Medição de Sucção em Solos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS (ÑSAT'97), 3. Rio de Janeiro, RJ, 1997. **Anais ...** Rio de Janeiro: Freitas Bastos Editora, 1997. v. 2, p. 373-398.

MARTINEZ, G. S. S. **Estudo do comportamento mecânico de solos lateríticos da formação barreiras**. Tese de doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, RS, 2003, 266p.

MCKEEN, R. G. Suction Studies: Design of airport pavements for expansive soils: **Final Report**, U.S. Dep. Of Transportation, Federal Aviation Administration, System Research and Development Service, Washington, DC, USA, 1981, 194p.

MCKEEN, R. G. Validation of procedures for pavement design expansive soil behavior, **Report** nº DOT/FAA/PM-85/15, U.S. Dep. Of Transportation, Federal Aviation Administration, System Research and Development Service, Washington, DC, USA, 1985.

MCQUEEN, I. S.; MILLER, R. F. Approximation soil moisture characteristics from limited data: Empirical evidence and tentative model. **Water Resource Research**, 10 (3), 1974, p. 521-527.

MITCHELL, J. K. **Fundamentals of Soil Behavior**. University of California, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1993, 437 p.

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. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica (PUC – Rio), Rio de Janeiro, RJ, 2004, 219p.

MUALEM, Y. Hydraulic conductivity of unsaturated soils: prediction and formulas. In: **Methods of soils analysis**. Part I. Physical and mineralogical methods 2nd ed, Agronomy (ed. A. Klute) Madison, Wis: American Society of Agronomy, 1986.

ÖBERG, A. L.; SÄLLFORS, G. Determination of shear strength parameters of unsaturated silts and sands based on the water retention curve. **Geotechnical Testing Journal**, 1997, 20, p. 40-48.

OLSON, R. E.; LANGFELDER, L. J. Pore-water pressures in unsaturated soils. **Journal Soil Mechanics Foundation Division ASCE** 91, SM4, p. 127-160, 1965

PARIZZI, M. G.; PORTO, C. G.; PIUMBINI, B. S. Caracterização Geológico-Geotécnica e Avaliação do Risco do Conjunto Taquaril, Belo Horizonte, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10. Ouro Preto, MG, 2002. **Anais... (CD-ROM)**, <038GU.doc> Ouro Preto: 2002. 18p.

PRESA, E. P. **Deformabilidad de las arcillas expansivas bajo succión controlada**. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1982. 269p.

RAHARDJO, H.; LIM, T. T.; CHANG, M. F. & FREDLUND, D. G., Shear Strength Characteristics of a Residual Soil. **Canadian Geotechnical Journal**, 32, 60-75, 1995.

REIS, M. R.; VILAR, O. M. Resistência ao cisalhamento de dois solos residuais de gnaiss não saturados. In: Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, 5.

São Carlos, SP, 2004. **Anais...** São Carlos: SGA/EESC/USP, 2004. v.1, p. 109-114.

RENDULIC, L. Relation between void ratio and effective principal stresses for a remoulded silty clay. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 1. Cambridge, Massachusetts, USA, 1936. **Proceedings ...** Cambridge: Harvard University, 1936, v.3, p. 48-51.

RICHARDS, B. G. The significance of moisture flow and equilibria in unsaturated soil in relation to the design of engineering structure built on shallow foundation in Australia. In: SYMPOSIUM ON PERMEABILITY AND CAPILLARITY, American Society for Testing and Materials, Atlantic City, N. J., 1966. In: FREDLUND, D. G.; MORGENSTERN, N. R. Stress State Variables for Unsaturated Soils. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, v.103, n. GT5, 1977, p. 447-466.

RIDLEY, A. M.; WRAY, W. K., Suction measurement: a review of current theory and practices, In: International Conference on Unsaturated Soils (UNSAT'95), 1. Paris, France, 1995. **Proceedings...** Rotterdam: A. A. Balkema; Paris: Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1995. v.3, p. 1293-1322.

ROBINSON, R. A. **The vapour Pressures of Solutions of Potassium Chlorite and Sodium Chlorite**. Transaction of the Royal Society of New Zealand, Vol. 5 part 2, 1945, p. 203-217. In: MARINHO, F. A. M. **Shrinkage behavior of some plastic soils**. Ph.D. Thesis in Soil Mechanics, University of London. Imperial College. Inglaterra, 1994.

ROHM, S. A. **Resistência ao Cisalhamento de um Solo Arenoso Laterizado Não Saturado da Região de São Carlos**. Tese de Doutorado, EESC/SP, São Carlos, SP, 1992, 274 p.

ROHM, S. A.; VILAR, O. M., Shear Strength of an Unsaturated Sandy Soil, In: International Conference on Unsaturated Soils (UNSAT'95), 1. Paris, França, 1995. **Proceedings ...** Rotterdam: A. A. Balkema; Paris: Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1995. v.1, p. 189-193.

SANTOS, J. P. Determinação do Teor de Ilita em Argilominerais Interestratificados a partir da Análise de Potássio Total, **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 18, p.127-141, 1998.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**: Fundamentos. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1975, vol.1, 340 p.

SCHOFIELD, R. K. The pF of water in soil. In: INTERNATIONAL CONGRESS FOR SOIL SCIENCE, 3. Oxford, England, 1935. **Trans. 3rd International Congress for Soil Science**. London: T. Murby & Co., 1935-36. v.2, 37-48; discussion, v.3, 182-186.

SILVA, A. S.; CARVALHO, E. T.; FANTINEL, L. M.; ROMANO, A.W.; VIANA, C. S. Estudos geológicos, hidrológicos, geotécnicos e geoambientais integrados no município de Belo Horizonte. **Relatório Final**. Belo Horizonte: PBH-IGC/UFMG-FUNDEP, 1995, 387 p. 19 mapas.

SILVEIRA, L. A.; CARNEIRO, F.A. Levantamento Geológico-geotécnico para o Plano Diretor do Taquaril. Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte (URBEL). **Relatório Interno**. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 1995.

SKEMPTON, A. W. Soil Mechanics in relation to geology. **Proc. Yorkshire Geology Soc.**, 29, p. 33-62, 1953.

SOARES, R. M. **Resistência ao Cisalhamento de um Solo Coluvionar Não Saturado do Rio de Janeiro, RJ**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio), Rio de Janeiro, RJ, 2005. 196p.

SOARES, R. M.; DE CAMPOS, T. M. P. Resistência ao Cisalhamento de um Solo Coluvionar Não Saturado da Cidade do Rio de Janeiro. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS (IV COBRAE), 4. **Anais...** Salvador: Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2005, Vol. 1, p. 165-172.

SOCIETY SOIL SCIENCE OF AMERICA: Glossary of Soil Science Terms. Disponível em: <<http://www.soils.org/sssagloss/>>. Acesso: 15 abr. 2006.

SOUZA NETO, J. B.; LACERDA, W. A. Variabilidade nos Parâmetros Geotécnicos de alguns Solos Residuais Brasileiros. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE TALUDES E ENCOSTAS (III COBRAE), 3. Rio de Janeiro, RJ, 2001. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS, 2001. p.305-315. (2001). In: 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. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio), 2005. 153p.

SOUZA PINTO, C. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

TANG, R. K. W. Measurement of Soil Suction by Filter Paper Method, Phases I-V. **Laboratory Reports**, Dep. Of Civil Eng., Univ. of Saskatchewan, Saskatoon, 1978

TEIXEIRA, R. S.; VILAR, O. M., Resistência ao Cisalhamento de um Solo Compactado Não Saturado, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS, 3. Rio de Janeiro, RJ, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro: Freitas Bastos Editora, 1997. v. 1, p. 161-169.

TERZAGHI, K. The Shear Resistance of Saturated Soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOILS MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING, 1. Cambridge, Massachusetts, USA, 1936. **Proceedings ...** Cambridge: Harvard University, 1936. v. 1, p. 54-56.

VAN GENUTCHEN, M. T. A Closed-Form Equation for Prediction the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soil. **Soil Science Society of America Journal**, 1980. v. 44, n. 5, p. 893-898.

VANAPALLI, S. K.; FREDLUND, D. G.; PUFAHL, D. E., The relationship between the soil water characteristic curve and the shear strength of a compacted glacial till. **Geotechnical Testing Journal**, 19, p. 259-268, 1996.

VANAPALLI, S. K.; FREDLUND, D. G.; PUFAHL, D. E., The influence of soil structure and stress history on the soil-water characteristics of a compacted till, **Geotechnique**, 49, p.143-159, 1999.

VILLAR, L. F. S. **Estudo do Adensamento e Ressecamento de Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio), Rio de Janeiro, 2002. 511p.

VILLAR, L. F. S.; DE CAMPOS, T. M. P. Obtenção de Uma Curva Característica de Sucção Pelo Uso Combinado de Técnicas Diversas. In: Simpósio Brasileiro

de Solos Não Saturados, 4. Porto Alegre, RS, 2001. **Anais...** Porto Alegre: W. Y. Y. Gehling; Schnaid, F (eds.), 2001. p. 337-353

WEAVER, C. E.; POLLARD, L. D. **The Chemistry of Clay Mineral. Developments in Sedimentology**, 15, Amsterdam: Elsevier, 1975. In: SANTOS, J. P. Determinação do Teor de Ilita em Argilominerais Interestratificados a partir da Análise de Potássio Total, **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 18, p.127-141, 1998.

WESLEY, L. S.; IRFAN, T. Y. **Classification of residual soils** In: BLIGHT, G. E. **Mechanical of residual soils**. Rotterdam: Ed. Balkema. 1997.

WOODBURN, J. A.; LUCAS, B. New approaches to the laboratory and field measurement of soil suction. In: International Conference on Unsaturated Soils (UNSAT'95), 1. Paris, França, 1995. **Proceedings...** Rotterdam: A. A. Balkema; Paris: Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1995. v. 2, p. 667-671.

Apêndice A

Calibração dos equipamentos eletrônicos e Saturação do Disco Cerâmico

A.1.

Calibração dos instrumentos elétricos de medição

Para as medições realizadas no equipamento de cisalhamento direto com sucção controlada foram usados sete instrumentos elétricos, sendo dois transdutores de pressão, dois transdutores de deslocamento, duas células de carga e um medidor de variação volumétrica. Antes de iniciar o programa de ensaios, todos esses instrumentos foram calibrados, devido à importância da correta relação entre as grandezas elétricas e as grandezas físicas de engenharia. A Tabela A. 1 mostra as principais características dos instrumentos.

Um sistema de aquisição de dados da marca Solartron Mobrey modelo SI 3531D foi utilizado para adquirir os dados dos ensaios realizados. Tem capacidade de armazenar oito canais por tarefa, sendo que possui 7 tarefas no total. Esses dados foram convertidos através de um programa chamado Orion em padrão Excel. Uma fonte de tensão de 10V (marca HP) foi utilizada para a excitação dos instrumentos elétricos. A Figura A.1 mostra a fonte e o sistema de aquisição de dados.



Figura A. 1 – Sistema de aquisição de dados e fonte de tensão.

Instrumento	Capacidade	Sensibilidade	Ganho	Resolução	Referência
Transdutor de deslocamento horizontal	25,80 mm	1,393 mV/V .mm	1	0,0127 mm	LSCDT (WF)
Transdutor de deslocamento vertical	13,90 mm	1,393 mV/V .mm	1	0,0072 mm	LSCDT (WF)
Célula de carga vertical	5 KN	0,400 mV/V .KN	250	0,0024 KN	Wikeham Farrance
Célula de carga horizontal	25 KN	0,081 mV/V .KN	500	0,0061 KN	Wikeham Farrance
Transdutor de pressão de ar	1000 KPa	0,01 mV/V .KPa	100	0,2464 KPa	Druck Limited
Transdutor de pressão de água	1000 KPa	0,01 mV/V .KPa	100	0,2486 KPa	Druck Limited
Medidor de variação volumétrica	14 cm ³	2,995 mV/V .cm ³	1	0,0068 cm ³	Belofram com LSCDT (WF)

Tabela A. 1 – Características dos instrumentos elétricos de medição

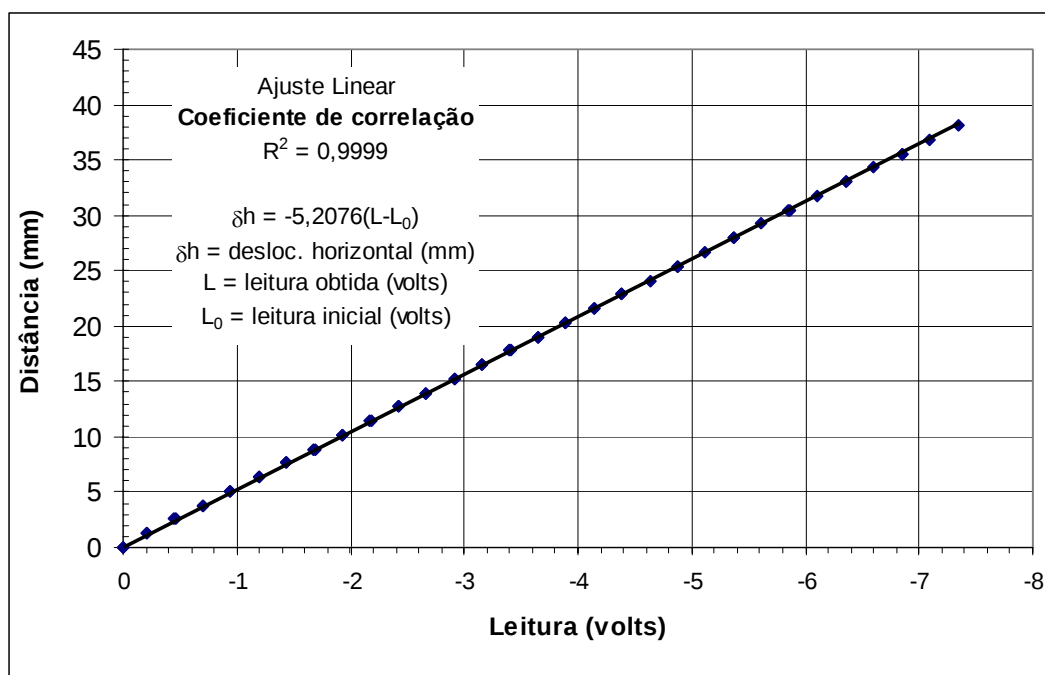
Para a calibração dos transdutores de deslocamento (LSCDT) foi utilizado um micrômetro de precisão, sendo imposto deslocamentos de 1,27mm (1/20") até o final do curso dos transdutores. Na Figura A. 2 estão mostradas as curvas e equações de calibração.

A célula de carga vertical foi calibrada na prensa de cisalhamento direto usando o pendural e o braço de alavanca, acrescentando-se pesos conhecidos e, depois, descarregando-a. Ao calibrar a célula de carga horizontal, usou-se apenas o pendural, carregando e descarregando-a novamente. As curvas e equações de calibração são apresentadas na Figura A. 3.

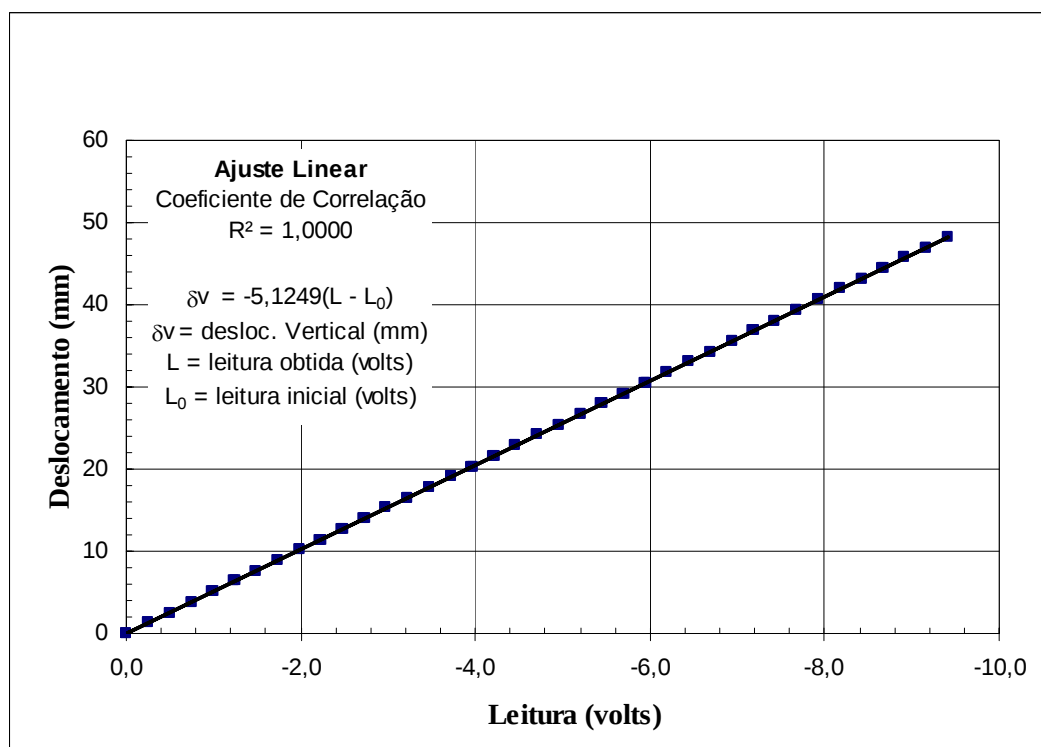
Os transdutores de pressão de ar e de água foram calibrados com o auxílio de um equipamento de pressão Budenberg, aplicando-se valores conhecidos de pressão. Na Figura A. 4 está mostrada as curvas e equações de calibração dos transdutores de pressão.

O medidor de variação volumétrica foi calibrado usando uma bureta graduada com resolução de 0,01cm³. Fez-se passar um fluxo pelo medidor, lido na bureta. As curvas e equações de calibração estão mostradas na Figura A. 5.

As calibrações foram repetidas pelo menos 3 vezes para dar maior confiabilidade aos resultados obtidos. Observou-se pouca ou nenhuma variação em todas as calibrações, sendo apresentados os valores médios nas curvas. As equações de calibração foram obtidas através de correlação linear, sendo que os valores usados para obter cada curva são valores médios das calibrações.

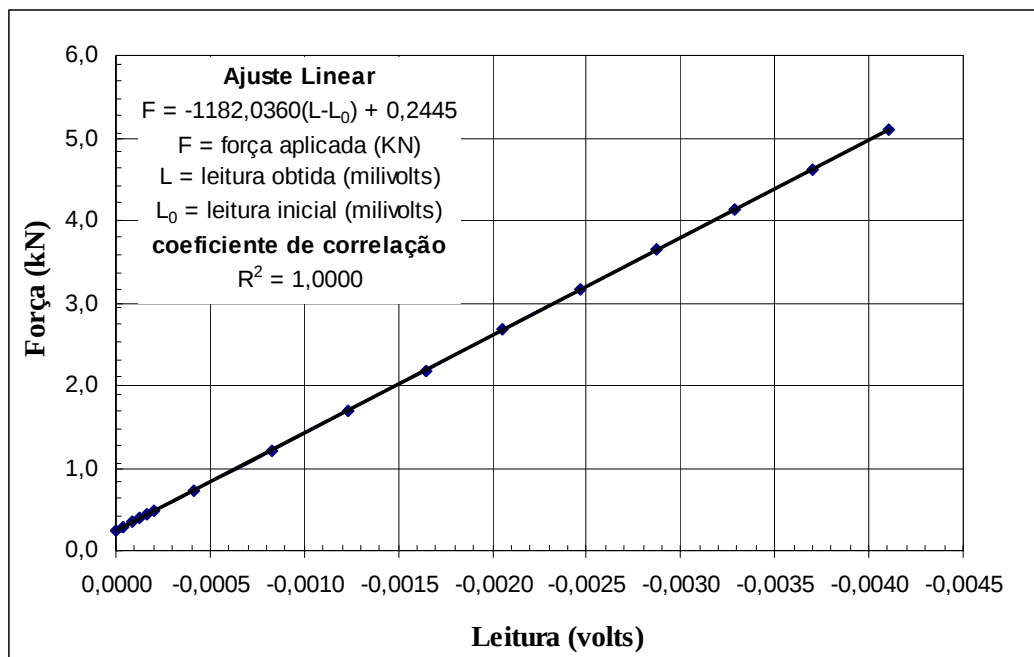


(a)

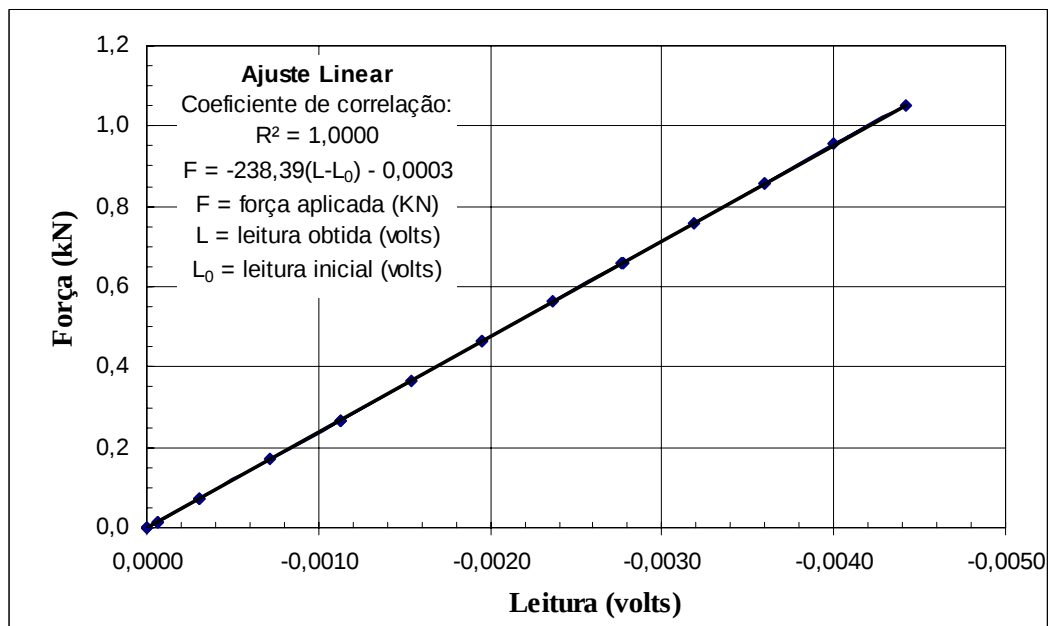


(b)

Figura A. 2 - Curva de calibração dos transdutores de deslocamento horizontal (a) e vertical (b).

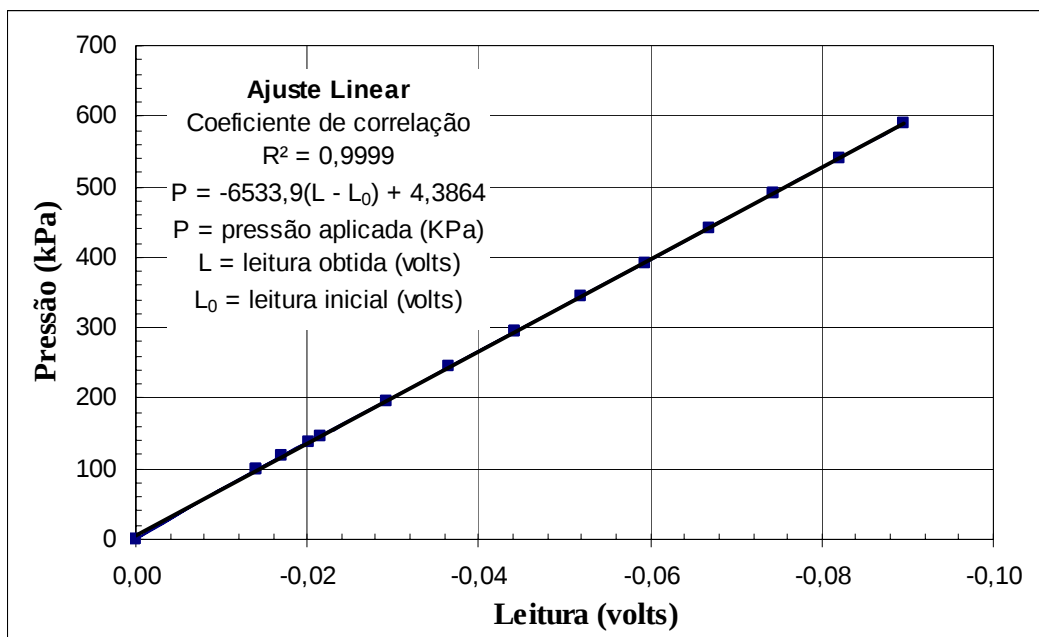


(a)

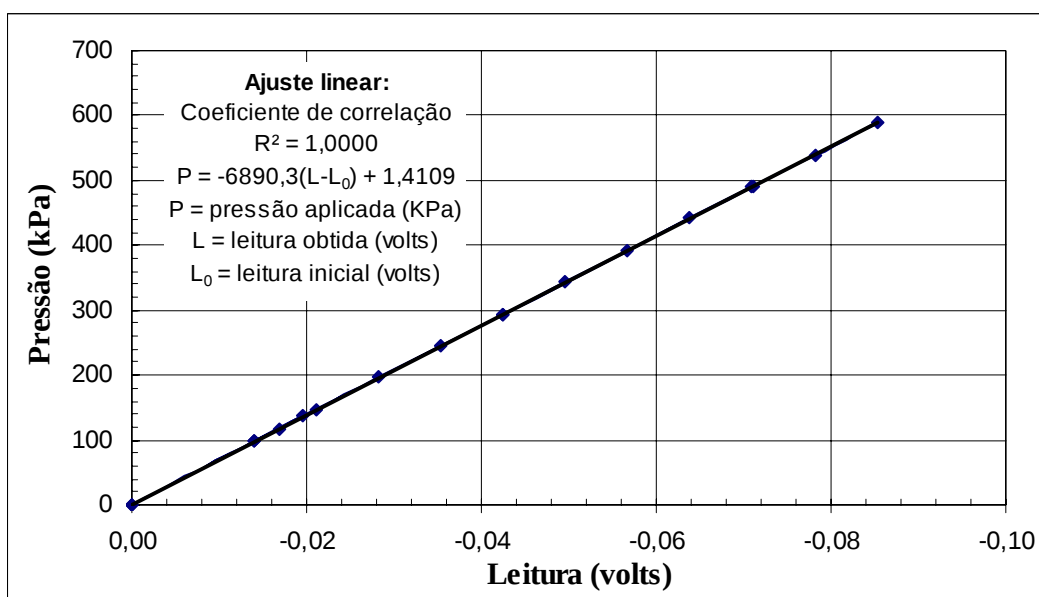


(b)

Figura A. 3 – curvas de calibração das células de carga vertical (a) e horizontal (b).



(a)



(b)

Figura A. 4 – curvas de calibração dos transdutores de pressão de água (a) e ar (b)

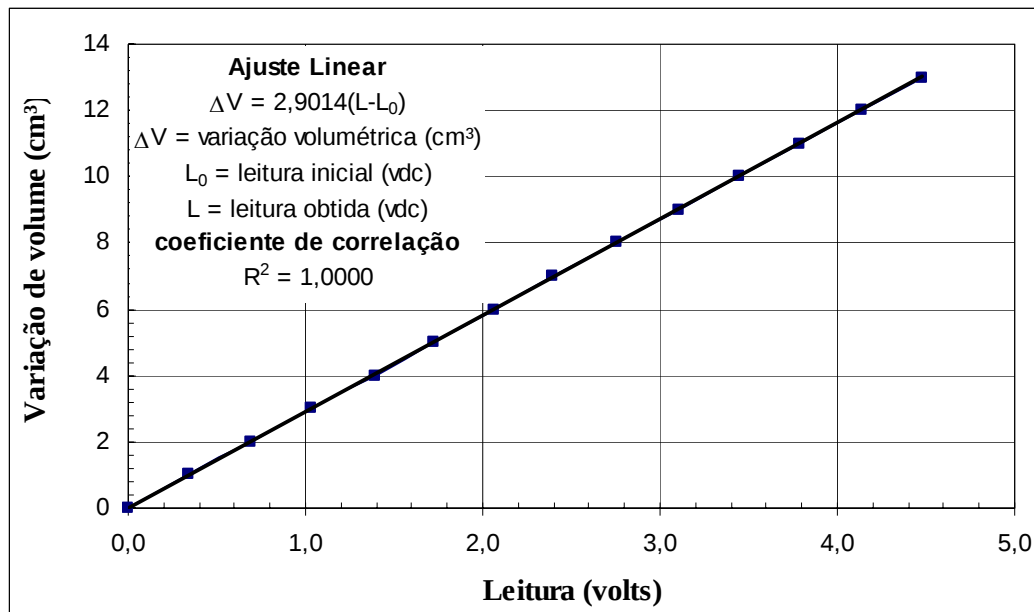


Figura A. 5 – curva de calibração do medidor de variação volumétrica

A.2.

Saturação do Disco Cerâmico de Alto Valor de Entrada de Ar (DAVE)

O disco cerâmico usado no equipamento CDSC possui 7,36mm de espessura, 14,529cm de diâmetro e pressão de borbulhamento de 5bar (500kPa).

Para saturar o disco, submergiu-se a câmara de compressão com água deaerada até cobrir a parte inferior da caixa de cisalhamento, que permanece fixa dentro da câmara de compressão. Após isso, fechou-se a câmara e aplicou-se um gradiente de pressão, isto é, uma pressão foi aplicada dentro da câmara de compressão e outra pressão na interface ar/água (linha de contrapressão), sendo que a pressão aplicada na câmara deve ser maior que aquela aplicada na linha de contrapressão, para não danificar o DAVE. Assim, induziu-se um fluxo de dentro da câmara de compressão para a interface ar/água.

Tal fluxo permanece até que a variação de volume torna-se constante ao longo do tempo, quando o disco cerâmico é considerado saturado, isto é, quando a curva volume acumulado vs variação de tempo atinge uma inclinação constante ou aproximadamente constante. A Figura A. 6 mostra a curva de vazão do disco cerâmico. O coeficiente de permeabilidade do disco de alta entrada de ar é $k = 1,09 \times 10^{-8}$ cm/s.

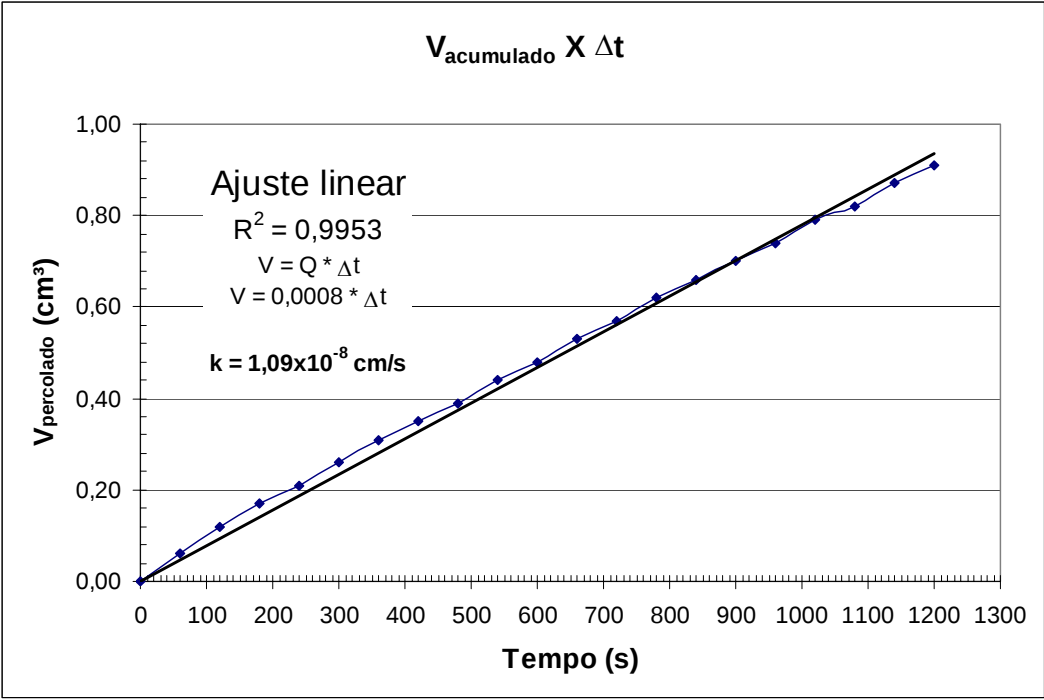


Figura A. 6 – saturação do disco cerâmico de alto valor de entrada de ar.

Apêndice B

Velocidade de cisalhamento

Para o cálculo das velocidades de cisalhamento adotadas nos ensaios de cisalhamento direto convencional e de cisalhamento direto com controle de sucção, alguns conceitos e metodologias são necessários, visando o bom entendimento de como as mesmas foram obtidas. A seguir, mostram-se tais procedimentos.

B.1. Ensaio de Cisalhamento Direto Convencional

Nos ensaios de cisalhamento direto convencional, supõe-se que a amostra a ser ensaiada está saturada e, usualmente, executa-se o ensaio de maneira drenada, visto que os excessos de poro-pressão gerados não seriam medidos. Nos ensaios drenados, deseja-se a dissipação de excessos de poro-pressão induzidos no plano de ruptura (ou de cisalhamento), portanto, é necessário executar o cisalhamento do corpo de prova com uma velocidade suficientemente pequena.

A partir da teoria de adensamento, Gibson e Henkel (1954) formularam um método teórico para determinação aproximada do tempo de ruptura para ensaios drenados em amostras saturadas ou submersas (Equação B.1).

$$t_f = \frac{H_d^2}{2 \cdot c_v \cdot (1 - \bar{U})} \quad (\text{B.1})$$

onde:

t_f é o tempo de ruptura;

H_d é a altura de drenagem do corpo de prova (drenagem dupla H_d é a metade da altura do corpo de prova);

c_v é o coeficiente de adensamento;

$\bar{U}$ é grau médio de dissipação de excessos de poro-pressão (95%).

O coeficiente de adensamento foi obtido a partir das curvas deslocamento vertical vs raiz do tempo da fase de adensamento de cada ensaio, segundo metodologia de Taylor. A Tabela B.1 apresenta o resumo de cálculo para obtenção da velocidade de cisalhamento.

Tabela B. 1 – Velocidades calculadas para o ensaio de cisalhamento direto.

Ensaio	H	c_v	t_{90}	t_f	v para $\delta h = 5 \text{ mm}$	v para $\delta h = 10 \text{ mm}$
	(cm)	(cm^2/min)	(min)	(min)	mm/min	mm/min
CD01	1,00	2,66	0,32	2,51	1,992	3,985
CD02	1,00	3,14	0,27	2,13	2,352	4,704
CD03	1,00	2,70	0,31	2,47	2,028	4,060

Os valores obtidos para o tempo de ruptura foram bastante pequenos. Na prática, adotou-se o tempo de ruptura igual a 2 horas e o deslocamento de 10 mm. Assim, a velocidade de cisalhamento calculada foi de 0,0467 mm/min e adotou-se a velocidade de 0,048 mm/min, o valor mais próximo permitido pelo equipamento de cisalhamento convencional.

B.2.

Ensaio de Cisalhamento Direto com Sucção Controlada

Para calcular o tempo de ruptura dos ensaios em amostras não saturadas, a metodologia aplicada foi a descrita por Ho e Fredlund (1982), baseada nas teorias de variação volumétrica em solos não saturados.

$$t_f = \frac{H_d^2}{\eta \cdot c_v^w \cdot (1 - \bar{U})} \quad (\text{B.2})$$

Onde t_f é o tempo de ruptura; H_d é a altura de drenagem do corpo de prova (drenagem dupla, H_d é a metade da altura do corpo de prova); η está relacionado ao tipo de drenagem no ensaio; c_v^w é o coeficiente de adensamento do solo não saturado relacionado com a fase líquida; $\bar{U}$ é grau médio de dissipação de excessos de poro-pressão (95%).

O ensaio de cisalhamento direto com sucção controlada foi executado com drenagem simples, assim, o parâmetro η é dado por:

$$\eta = \frac{0,75}{1 + \frac{3}{\lambda}} \quad (\text{B.3})$$

O parâmetro λ é denominado fator de impedância e pode ser obtido a partir de um ábaco (L_d/d vs k_w/k_d) ou pela relação:

$$\lambda = \frac{k_w \cdot d}{k_d \cdot L_d} \quad (\text{B.4})$$

Onde k_w é o coeficiente de permeabilidade do solo não saturado, relacionado com a fase líquida; k_d é o coeficiente de permeabilidade do disco porosa de alto valor de entrada de ar (DAVE); d é o comprimento de drenagem do corpo de prova; L_d é a espessura do DAVE.

O coeficiente de adensamento c_v^w é dado por:

$$c_v^w = \frac{k_w}{\rho_w \cdot g \cdot m_2^w} \quad (\text{B.5})$$

Onde ρ_w é a massa específica da água (1 Mg/m^3); g é a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); m_2^w é o coeficiente de deformação volumétrica com respeito à sucção mátrica, obtido a partir da curva característica de sucção mátrica (teor de umidade volumétrico vs. sucção mátrica), em escala natural, dado pela inclinação da curva no ponto desejado.

A obtenção da permeabilidade não saturada do solo se dá a partir de um ajuste proposto por Fredlund *et al.* (1994). Inicialmente, os pontos experimentais da curva característica foram ajustados até um valor máximo de 10^6 kPa , segundo metodologia proposta por Fredlund e Xing (1994), empregando as equações seguintes:

$$\theta(\psi, a, n, m) = C(\psi) \frac{\theta_s}{\{\ln[e + (\psi/a)^n]\}^m} \quad (\text{B.6})$$

$$C(\psi) = 1 - \frac{\ln(1 + \psi/\psi_r)}{\ln[1 + (1000000/\psi_r)]} \quad (\text{B.7})$$

Usando a solução gráfica mostrada na Figura B.1, foram determinados os parâmetros de ajuste a , n e m da seguinte forma:

$$a = \psi_i \quad (\text{B.8})$$

$$m = 3.67 \ln \left[\frac{\theta_s C(\psi_i)}{\theta_i} \right] \quad (\text{B.9})$$

$$n = \frac{1.31^{m+1}}{m C(\psi_i)} 3.72 s^* \quad (\text{B.10})$$

onde:

$$s^* = \frac{s}{\theta_s} - \frac{\psi_i}{1.31^m (\psi_i + \psi_r) \ln[1 + (1000000/\psi_r)]} \quad (\text{B.11})$$

$$s = \frac{\theta_i}{\ln(\psi_p/\psi_i)} \quad (\text{B.12})$$

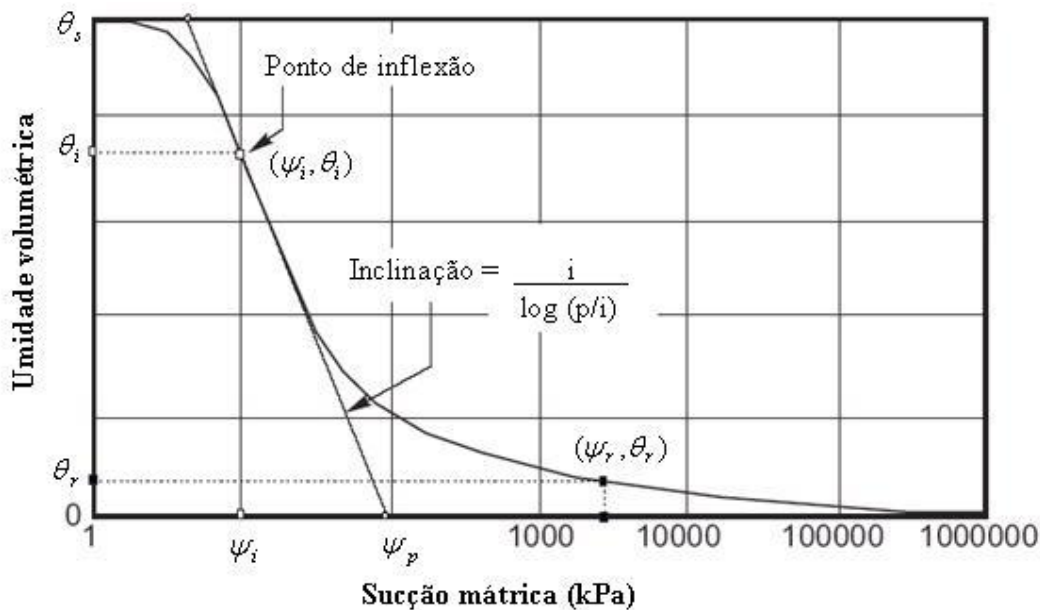


Figura B.1 - Solução gráfica para a determinação dos parâmetros de ajuste a , n e m (adaptado de Fredlund e Xing, 1994).

Na curva característica que apresenta dois pontos de inflexão, em virtude da distribuição bimodal de poros, os dados experimentais foram ajustados através de duas curvas. A primeira curva foi ajustada para uma faixa de sucção variando de 0 a 200 kPa, enquanto que a segunda curva para uma sucção de 200 a 1.000.000 kPa. A figura B.2 apresenta esse ajuste. No solo SR3 onde se apresentou apenas um ponto de inflexão, o ajuste foi feito usando apenas uma curva (figura B.3).

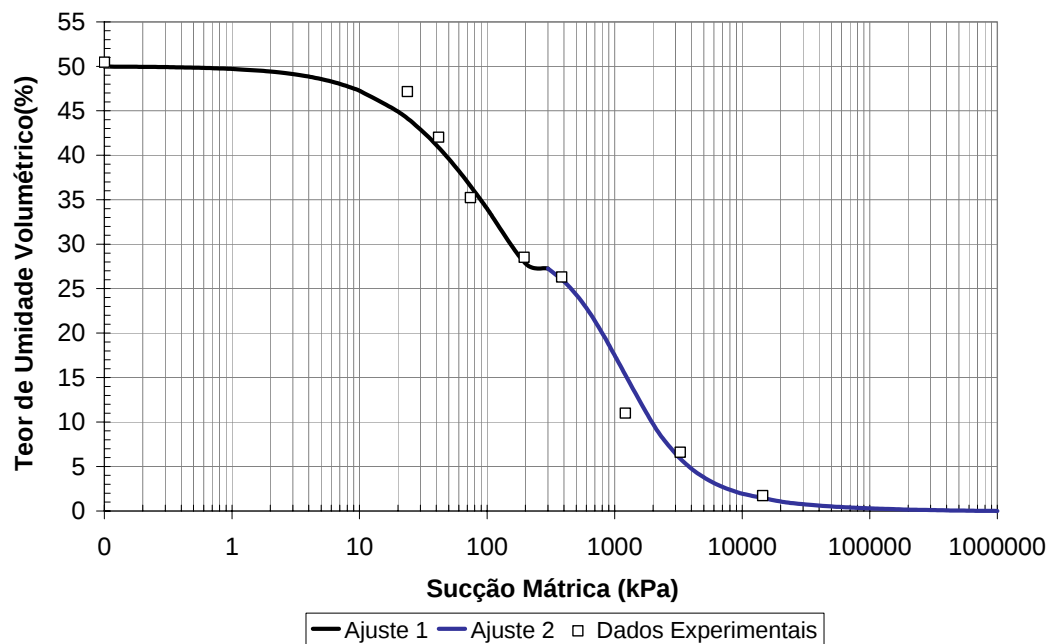


Figura B. 2 - Ajuste da curva característica utilizando a proposta de Fredlund e Xing (1994).

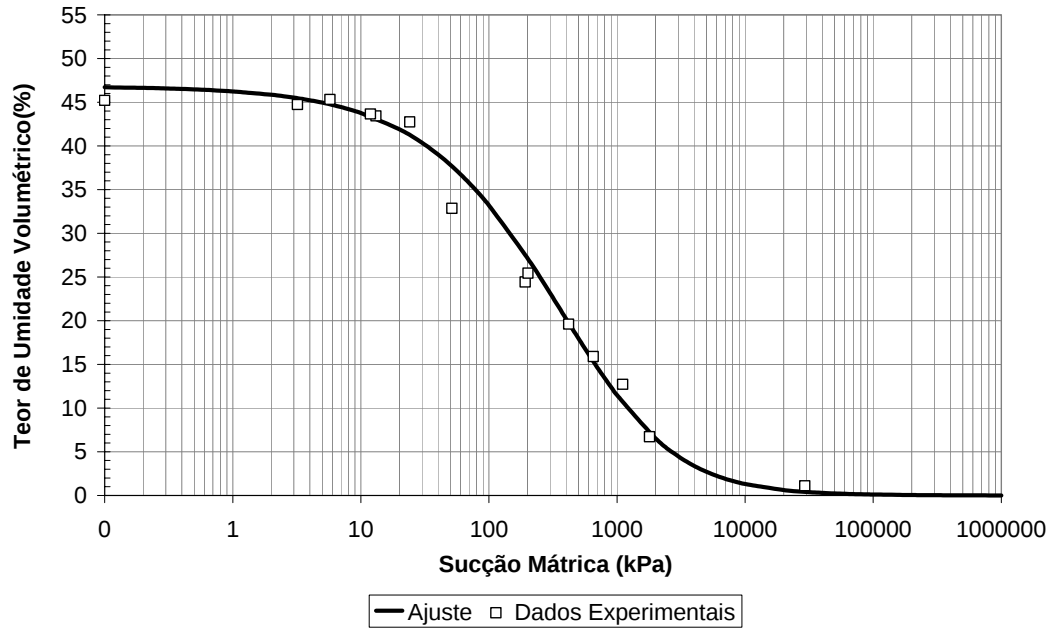


Figura B. 3 - Ajuste da curva característica utilizando a proposta de Fredlund e Xing (1994).

Para a obtenção da permeabilidade não saturada, Fredlund *et al.* (1994) propuseram o uso da seguinte equação:

$$k_r(\psi) = \frac{k_w(\psi)}{k_s} = \frac{\int_{\ln(\psi_{aev})}^b \frac{\theta(e^y) - \theta(\psi)}{e^y} \theta'(e^y) dy}{\int_{\ln(\psi_{aev})}^b \frac{\theta(e^y) - \theta_s}{e^y} \theta'(e^y) dy} \quad (B.13)$$

onde $k_r(\psi)$ é o coeficiente de permeabilidade relativa em função da sucção; $k_w(\psi)$ é o coeficiente de permeabilidade não saturado em função da sucção; e k_s é o coeficiente de permeabilidade saturado.

Por integração numérica, pode-se reescrever a equação B. 13, como a seguir:

$$k_r(\psi) = \frac{\int_{\ln(\psi_{aev})}^b \frac{\theta(e^y) - \theta(\psi)}{e^y} \theta'(e^y) dy}{\int_{\ln(\psi_{aev})}^b \frac{\theta(e^y) - \theta_s}{e^y} \theta'(e^y) dy} \cong \frac{\sum_{i=j}^N \frac{\theta(e^{\bar{y}_i}) - \theta(\psi)}{e^{\bar{y}_i}} \theta'(e^{\bar{y}_i})}{\sum_{i=1}^N \frac{\theta(e^{\bar{y}_i}) - \theta_s}{e^{\bar{y}_i}} \theta'(e^{\bar{y}_i})} \quad (B.14)$$

sendo $a = \ln(\psi_{aev})$, limite inferior de integração; e $b = \ln(1.000.000)$, limite superior de integração.

Esse intervalo de integração é dividido em N intervalos de mesmo tamanho, onde Δy é o comprimento desse subintervalo. Assim:

$$a = y_1 < y_2 < \dots < y_N < y_{N+1} = b$$

$$\Delta y = \frac{b-a}{N} \quad (B.15)$$

$\bar{y}_i$ = ponto médio do i^{th} intervalo $[y_i, y_{i+1}]$;

A derivada da equação B.6 (θ') é dada por:

$$\theta'(\psi) = C'(\psi) \cdot \frac{\theta_s}{\{\ln[e + (\psi/a)^n]\}^m} - C(\psi) \cdot \frac{\theta_s}{\{\ln[e + (\psi/a)^n]\}^{m+1}} \cdot \frac{mn \left(\frac{\psi}{a}\right)^{n-1}}{a \cdot [e + (\psi/a)^n]} \quad (B.16)$$

Onde:

$$C'(\psi) = \frac{-1}{(C_r + \psi) \cdot \ln[1 + (1000000/C_r)]} \quad (B.17)$$

De acordo com o procedimento descrito anteriormente, obteve-se os gráficos do coeficiente de permeabilidade não saturado em função da sucção mátrica para os solos SR2 e SR3, apresentados nas figuras B.4 e B.5.

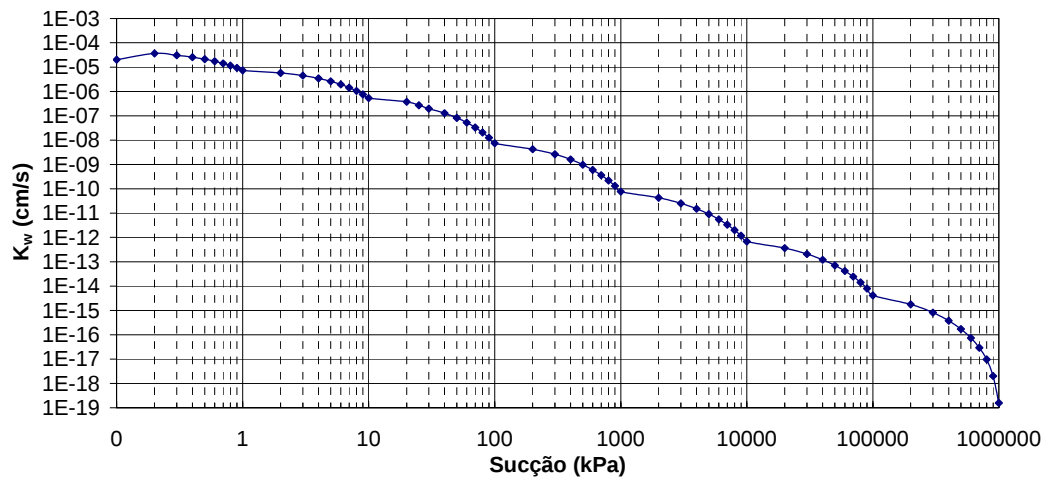


Figura B. 4 - Estimativa da permeabilidade não saturada do solo SR2 utilizando a metodologia de Fredlund *et al.* (1994).

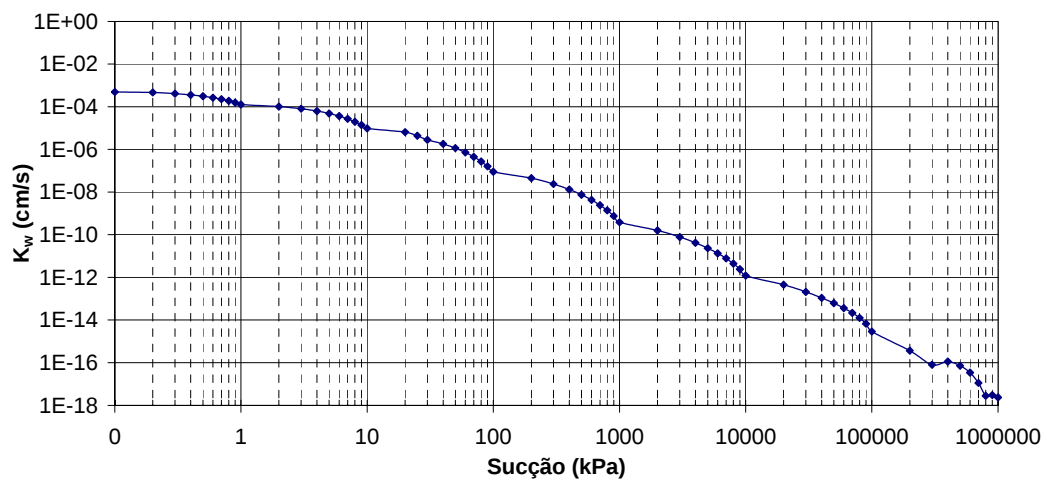


Figura B. 5 - Estimativa da permeabilidade não saturada do solo SR3 utilizando a metodologia de Fredlund *et al.* (1994).

Na Tabela B.2, está apresentado o resumo do cálculo da velocidade de cisalhamento nos ensaios não saturados para o solo SR2, para cada nível de sucção aplicada, considerando que a ruptura ocorria entre 5 e 10 mm. Na Tabela B.3, estão os dados e o cálculo da velocidade para o solo SR3.

A velocidade adotada em ambos os casos foi de 0,000975 mm/min, devido à limitação da prensa de cisalhamento. Esse foi o valor mais próximo, imediatamente menor que as velocidades de ensaio calculadas.

Tabela B.2 – Velocidade de cisalhamento para ensaios não saturados – SR2.

$(u_a - u_w)$ (kPa)	L_d (m)	d (m)	K_w (m/s)	K_d (m/s)	m_2^w (kPa ⁻¹)	λ	η
25	0,0073	0,0213	2,69E-09	2,05E-10	2,01E-03	2,22E-01	0,052
50	0,0073	0,0213	8,21E-10	2,05E-10	1,46E-03	7,27E-01	0,146
100	0,0073	0,0213	3,72E-11	2,05E-10	6,42E-04	1,60E+01	0,632
200	0,0073	0,0213	4,23E-11	2,05E-10	3,36E-04	1,41E+01	0,619

Tabela B.2 (continuação) – Velocidade de cisalhamento para ensaios não saturados – SR2.

$(u_a - u_w)$ (kPa)	c_v^w (m ² /s)	t_f (s)	t_f (min)	t_f (h)	Velocidade para $\delta_h = 5$ mm (mm/min)	Velocidade para $\delta_h = 10$ mm (mm/min)
25	1,36E-07	322099,5	5368,32	89,47	0,00093	0,00186
50	5,75E-08	269499,2	4491,65	74,86	0,00111	0,00223
100	5,91E-09	607358,7	10122,65	168,71	0,00049	0,00099
200	1,28E-08	286040,5	4767,34	79,46	0,00105	0,00210

Tabela B.3 - Velocidade de cisalhamento para ensaios não saturados – SR3.

$(u_a - u_w)$ (kPa)	L_d (m)	d (m)	K_w (m/s)	K_d (m/s)	m_2^w (kPa ⁻¹)	λ	η
25	0,0073	0,0213	1,15E-08	2,05E-10	1,71E-03	5,19E-02	0,013
50	0,0073	0,0213	8,93E-10	2,05E-10	1,31E-03	6,69E-01	0,137
100	0,0073	0,0213	6,71E-10	2,05E-10	6,73E-04	8,90E-01	0,172
200	0,0073	0,0213	4,48E-10	2,05E-10	5,21E-04	1,33E+00	0,231

Tabela B.3 (continuação) - Velocidade de cisalhamento para ensaios não saturados – SR3.

$(u_a - u_w)$ KPa	c_v^w (m ² /s)	t_f (s)	t_f (min)	t_f (h)	Velocidade para $\delta_h = 5$ mm (mm/min)	Velocidade para $\delta_h = 10$ mm (mm/min)
25	6,86E-07	259183,7	4319,73	72,00	0,00116	0,00231
50	6,96E-08	238563,0	3976,05	66,27	0,00126	0,00252
100	1,02E-07	130081,9	2168,03	36,13	0,00231	0,00461
200	8,78E-08	112084,7	1868,08	31,13	0,00268	0,00535