

## Referências Bibliográficas

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, 1988.

ASTM **D3080**: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, 1990, 6p.

ASTM **D 5298-92**, Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper, ASTM Standards, vol 15.09, 264-268, 1992.

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, DEC, PUC-Rio, RJ, 2002.

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**, Tecknisk Ukeblad, 106 (39), 859-863, 1959.

CHANDLER, R. J. & GUTIERREZ, C. I., The Filter Paper Method of Suction Measurement, **Geotechnique**, 36, 265-268, 1986.

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.

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 (ÑSAT'94), 2. Recife, PE, 1994. **Anais...** Recife: AMSF(UFPE)/ABMS-NE, 1994, p. 67-78.

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

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. & RAHARDJO, H., *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*, John Wiley & Sons, USA, 1993.

FREDLUND, D. G.; RAHARDJO, H. & GAN, J., **Nonlinearity of Strength Envelope for Unsaturated Soils**, Proceedings 6th International Conference Expansive Soils, 1, 49-54, New Delhi, India, 1987.

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.

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.

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, 51 v., Ed. John Wiley e Sons, New York, 1979.

LYTTON, R. L., Foundations and Pavements on Unsaturated Soils, Unsaturated Soils, ed. Alonso and Delage, Proc. 1st Int. Conf. on Unsaturated Soils, Paris, Balkema, vol.3, 1021-1220, 1996.

MACCARINI, M., Ensaios Triaxiais e de Cisalhamento Direto no Solo Residual Gnáissico Jovem do Campo Experimental da PUC/RJ Gávea RJ, Dissertação de Mestrado, DEC, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1980.

MARINHO, F. A. M., Características de Deformabilidade do Solo Residual do Campo Experimental II da PUC/RJ Obtidas a Partir de Ensaios Triaxiais Axissimétricos, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986.

MARINHO, F. A. M., Medição de Sucção com o Método do Papel Filtro, X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 2, 515-522, 1994.

MARINHO, F. A. M., Medição de Sucção em Solos, Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, 2, 373-398, Rio de Janeiro, 1997.

MCQUEEN, I. S. & MILLER, R. F., Approximating Soil Moisture Characteristics From Limited Data: Empirical Evidence and Tentative Model, Water Resource Research, 10, (3), 521-527, 1974.

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.

ÖBERG, A. L. & SALLFORS, G., Determination of Shear Strength Parameters of Unsaturated Silts and Sands Based on Water Retention Curve, *Geotechnical Testing Journal*, 20 (1), 40-48, 1997.

OLIVEIRA, O. M. & MARINHO, F. A. M., Aspectos da Curva de Retenção de Água de um Solo Residual Compactado, *Anais do 5º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados*, 279-287, São Carlos, SP, 2004.

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.

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.

TEIXEIRA, R. S. & VILAR, O. M., Resistência ao Cisalhamento de um Solo Compactado Não Saturado, **Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados**, 1, 161-169, Rio de Janeiro, 1997.

VANAPALLI, D. G.; FREDLUND, D. G.; PUFAHL, D. E. & CLIFTON, A. W., Model for the Prediction of Shear Strength with Respect to Soil Suction, *Canadian Geotechnical Journal*, 33, 379-392, 1996.

VANAPALLI, S. K. & FREDLUND, D. G., Comparison of Different Procedures to Predict Unsaturated Soil Shear Strength, ASTM Proceedings, Unsaturated Soils, Geo-Denver, 2000.

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, 143-159, 1999.

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, 259-268, 1996.

VANAPALLI, S. K.; SILLERS, W. S. & FREDLUND, M. D., The Meaning and Relevance of Residual Water Content to Unsaturated Soils, 51st Canadian Geotechnical Conference, Edmonton, 101-108, 1998.

VANAPALLI, S. K.; WRIGHT, A. & FREDLUND, D. G., Shear Strength of Two Unsaturated Silty Soils Over the Suction Range From 0 to 1,000,000Kpa, 53rd Canadian Geotechnical Conference, Montreal, October 15-18, 1161-1168, 2000.

VILLAR, L. F. S. & DE CAMPOS, T. M. P., Obtenção de Uma Curva Característica de Sucção Pelo Uso Combinado de Técnicas Diversas, Anais do 4º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, 337-353, Porto Alegre, 2001.

VILLAR, L. F. S., Estudo do Adensamento e Ressecamento de Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita, Tese de Doutorado, DEC, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2002.

## **Apêndice A**

### **Calibração dos instrumentos eletrônicos e saturação do disco cerâmico (DAVE)**

#### **A.1.**

##### **Calibração dos instrumentos eletrônicos de medição.**

Como foi descrito anteriormente no capítulo 3 o sistema de aquisição de dados do equipamento CDSC esteve conformado por dois transdutores de pressão, dois transdutores de deslocamento, duas células de carga e um medidor de variação de volumétrica. Antes de dar início à execução dos ensaios foi necessário calibrar todos os instrumentos a fim de obter a curva de calibração de grandezas físicas versus grandezas elétricas.

Para a aquisição de dados dos ensaios realizados foi utilizado um sistema de aquisição de dados da marca DATAQ Instruments modelo DI710 Serew Terminal Access. Os dados foram armazenados no computador com auxílio do programa DATAQ Instruments Hardware Device Manager. Para excitação elétrica dos instrumentos utilizou-se uma fonte de tensão regulada de 10 v.

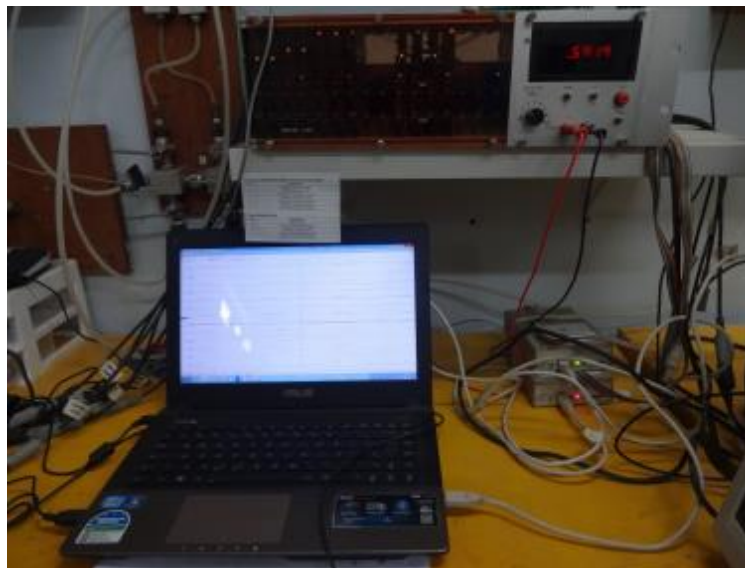


Figura A.1 – Sistema de aquisição de dados.

| Instrumento                              | Capacidade         | Sensibilidade  | Ganho | Resolução              | Referência              |
|------------------------------------------|--------------------|----------------|-------|------------------------|-------------------------|
| Célula de Carga Vertical                 | 10 KN              | 0,400 mV/V.KN  | 250   | 0,0024 mm              | Wikeham Farrance        |
| Célula de Carga Horizontal               | 25 KN              | 0,081 mV/V.KN  | 500   | 0,0061 mm              | Wikeham Farrance        |
| Transdutor de Pressão de ar              | 1000 Kpa           | 0,010 mV/V.KPa | 100   | 0,2464 kPa             | Druck Limited           |
| Transdutor de Pressão de água            | 1000 Kpa           | 0,010 mV/V.KPa | 100   | 0,2464 kPa             | Druck Limited           |
| Medidor de variação de volumétrica (MVV) | 14 cm <sup>3</sup> | 2,995 mV/V.KPa | 1     | 0,0068 cm <sup>3</sup> | BELOFRAM com LSCDT (WF) |
| Transdutor de deslocamento horizontal    | 25,80 mm           | 1,393 mV/V.KN  | 1     | 0,0127 mm              | LSCDT (WF)              |
| Transdutor de deslocamento vertical      | 13,90 mm           | 1,393 mV/V.KN  | 1     | 0,0072 mm              | LSCDT (WF)              |

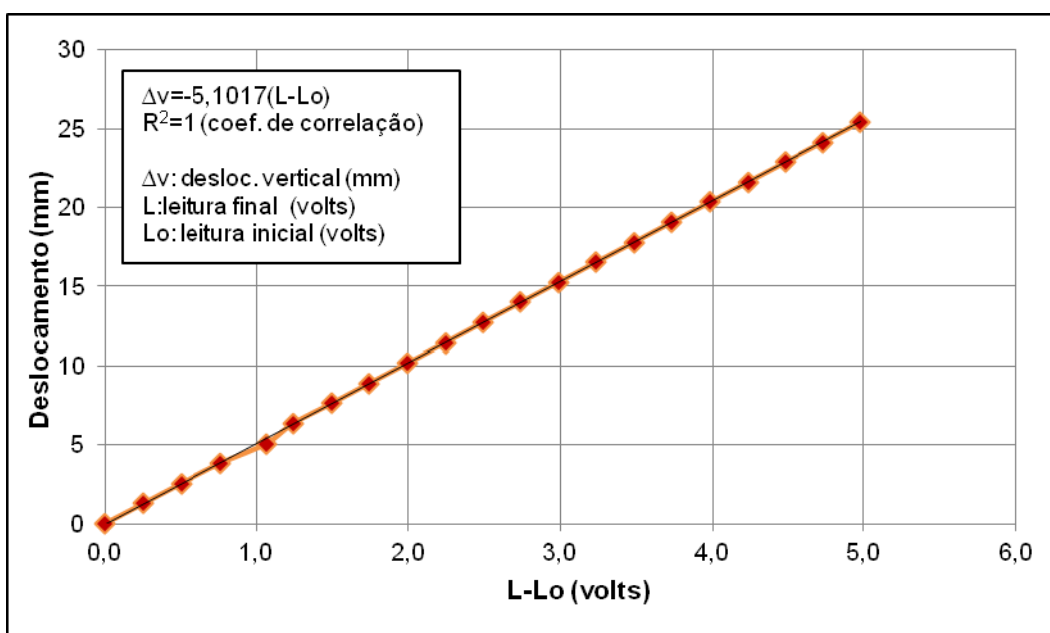
Tabela A.1 – Características dos instrumentos elétricos de medição.

Para a calibração dos transdutores de deslocamento (LSCDT) horizontal e vertical utilizou-se um micrometro de precisão, onde eram impostos deslocamentos de 1,27mm até o final do curso dos transdutores. Na figura A.2 são apresentadas as curvas de calibração ajustadas a uma função linear para o transdutor de deslocamento vertical e para o de deslocamento horizontal.

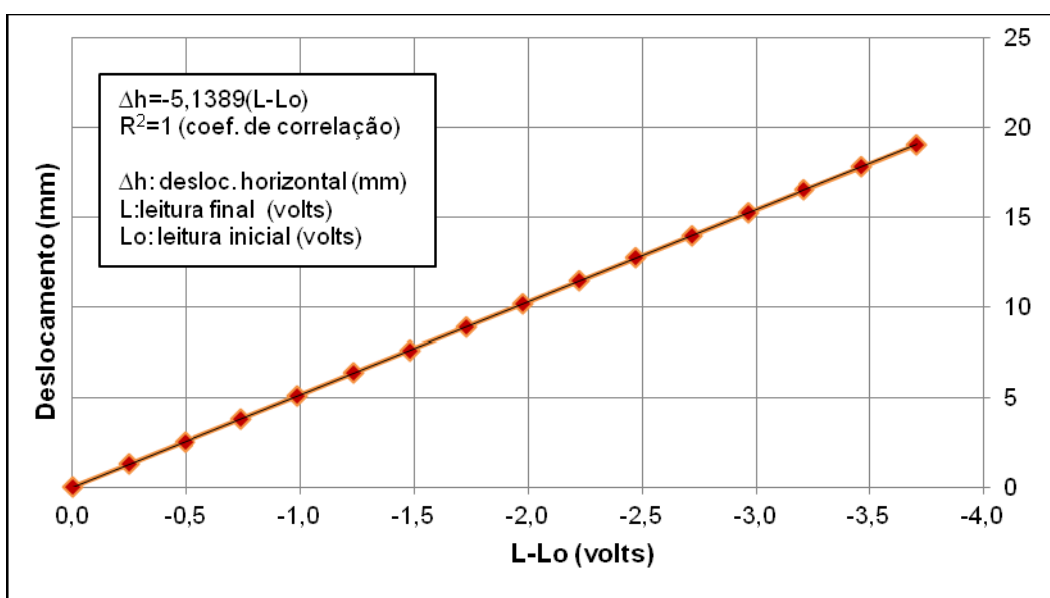
Para a calibração dos transdutores de pressão de água e ar foi utilizado o equipamento de pressão Budenberg, através do qual foram aplicados valores conhecidos de pressão. Na figura A.4 são apresentadas as curvas de calibração ajustadas a uma função linear para o transdutor de pressão de água e para o ar.

As células de carga horizontal e vertical foram calibradas através da aplicação de pesos conhecidos com o uso do pendural e o braço de alavanca no mesmo equipamento. Na figura A.3 são apresentadas as curvas de calibração ajustadas a uma função linear da célula de carga horizontal e da vertical.

O medidor de variação volumétrica (MVV) foi calibrado com o uso da bureta graduada com precisão 0,01 cm<sup>3</sup>, onde eram registradas as variações de volume decorrentes do fluxo gerado. Na figura A.5 é apresentada a curva de calibração ajustada a uma função linear.

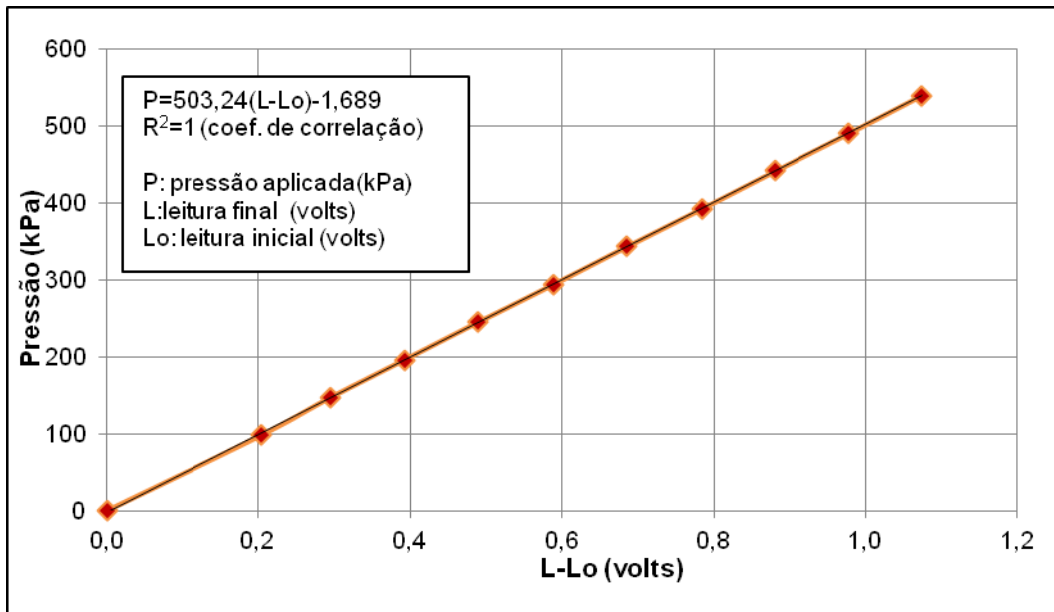


(a)

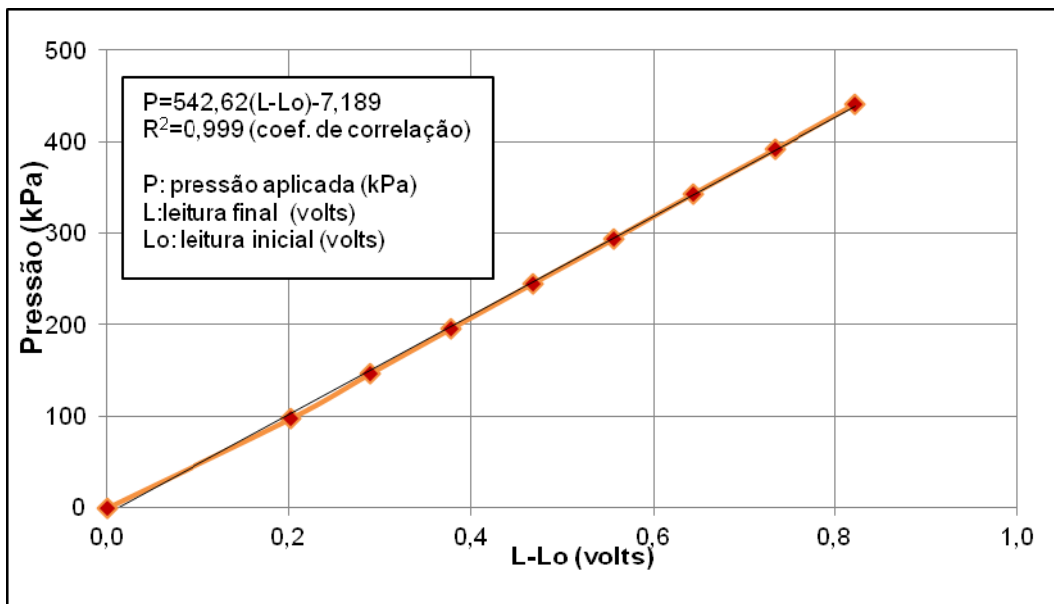


(b)

Figura A.2 – Curva de calibração do transdutor de deslocamento: (a) vertical; (b) horizontal.

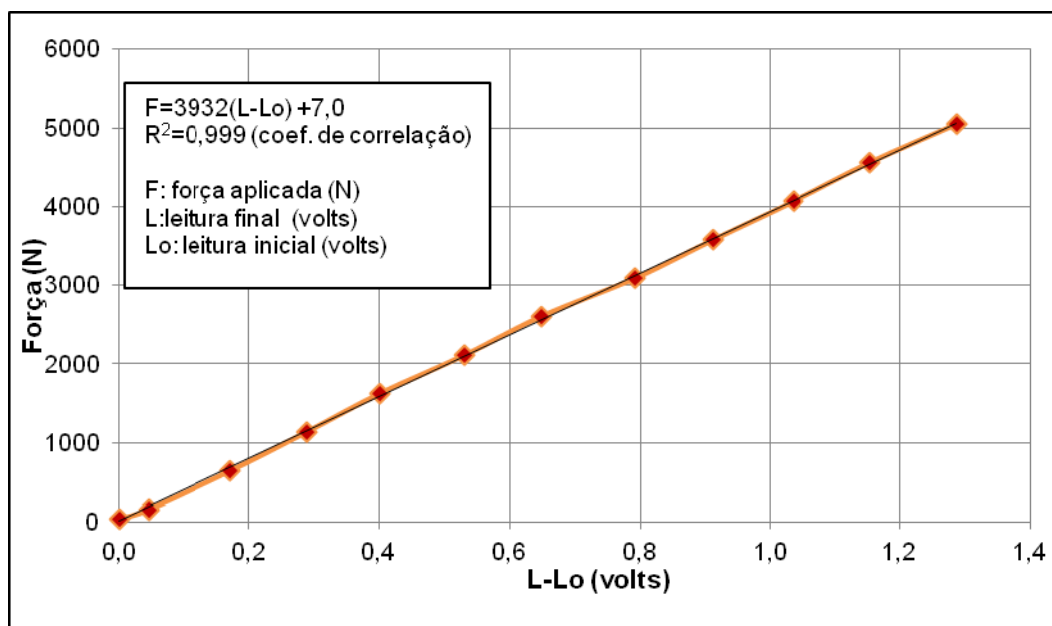


(a)

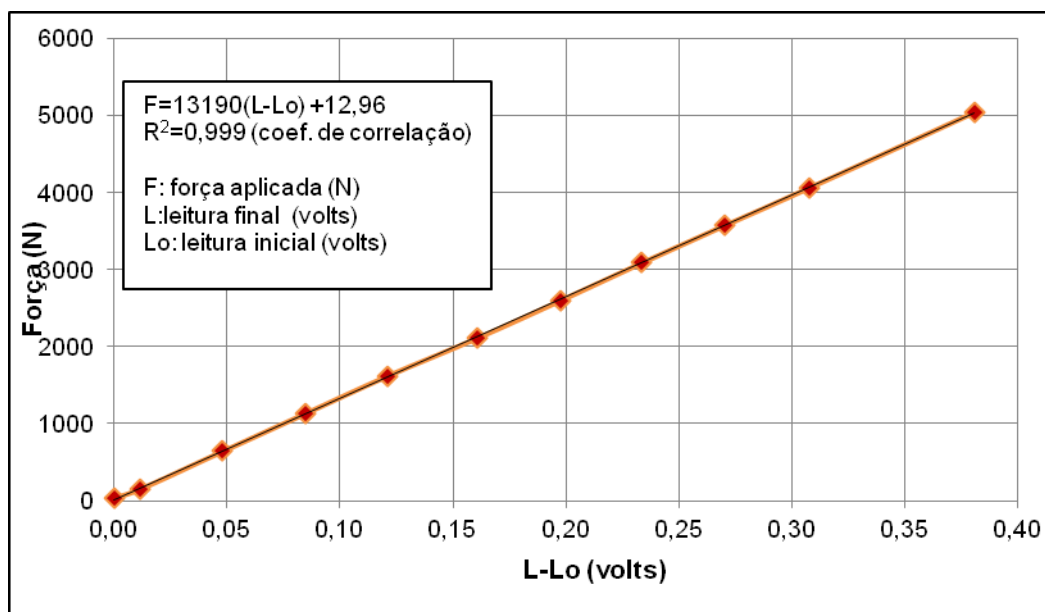


(b)

Figura A.3 – Curva de calibração do transdutor de pressão: (a) de ar; (b) de água.



(a)



(b)

Figura A.4 – Curva de calibração da célula de carga: (a) horizontal; (b) vertical.

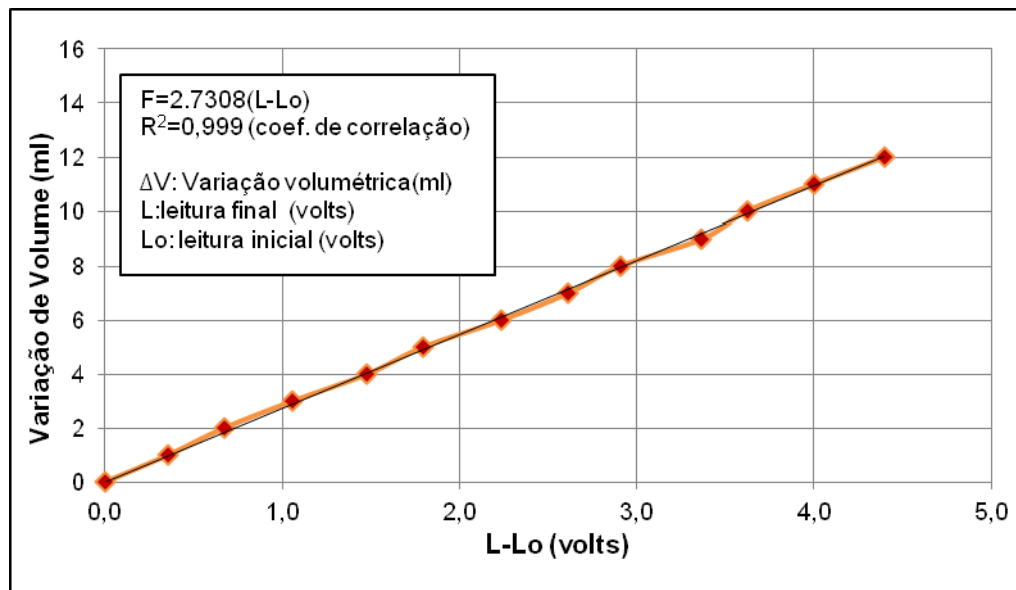


Figura A.5 – Curva de calibração do medidor de variação volumétrica.

## A.2.

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

Tal como foi descrito no capítulo 3 para saturar o disco colocou-se uma camada de água até cobrir a pedra. Depois disso, fechou-se a câmara e aplicou-se uma gradiente através de uma aplicação de pressão dentro da câmara, a fim de gerar um fluxo que passe através da pedra até saturá-la completamente.

Com ajuda do MVV verificou-se que a variação volumétrica torna-se constante ao longo do tempo, quando o disco estiver saturado. A figura A.6 apresenta a curva de volume percolado versus o tempo de percolação.

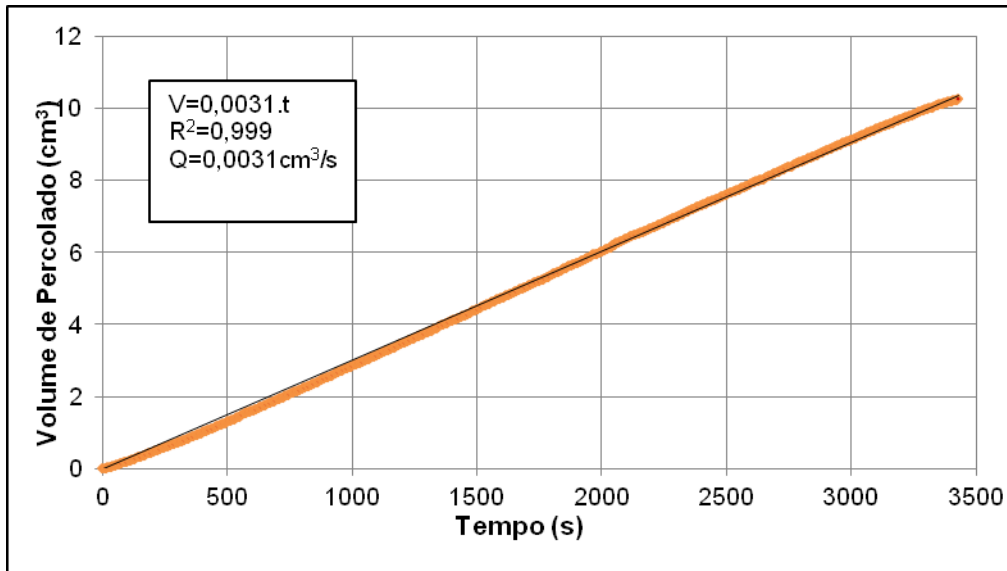


Figura A.6 – Curva de Volume percolado vs. Tempo de percolação.

|    |          |       |
|----|----------|-------|
| Q= | 0.0031   | cm³/s |
| i= | 2262     |       |
| A= | 0.0176   | m²    |
|    |          |       |
| k= | 7.80E-09 | cm/s  |
| k= | 7.80E-11 | m/s   |

A partir dos resultados obtidos da curva de volume percolado, a gradiente aplicada e a área do DAVE calculou-se o valor do coeficiente de permeabilidade saturado do DAVE  $k=7,80 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$ .