

COMUNICADO TÉCNICO

Nº 17, dez/97, p.1-5

TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA APLICADA AO ESTUDO DE SOLOS COLAPSÍVEIS¹

João de Mendonça Naime²
Wilson Conciani³
Márcio Miranda Soares⁴
Paulo Estevão Cruvinel⁵
Sílvio Crestana⁶

O problema do afundamento de edificações, causado pelo colapso do solo, tem demandado estudos que resultem em soluções técnicas, economicamente viáveis, para o projeto de fundações de edifícios localizados em regiões onde é colapsável. Sem estas técnicas, os engenheiros civis têm calculado fundações baseados em métodos inferidos empiricamente. Desta forma, na maioria dos casos, os resultados obtidos são indesejáveis e com excessivo dispêndio de recursos.

De uma forma genérica, solos colapsíveis (Conciani et al, 1995) podem ser definidos como sendo aquele tipo de solo de estrutura com alta porosidade ou índice de vazios acima de 60%, composto basicamente de areia e silte, não lixiviados e não saturados, com ligações entre grãos formadas por argilas e colóides, e que quando submetidos à acréscimos de tensão e/ou umidade, sofrem rearranjo brusco da sua estrutura com consequente redução do seu volume (Menezes & Fraga, 1994).

A estrutura do solo colapsível consiste de grãos não lixiviados, separados por espaços vazios, com as menores distâncias entre os grãos sendo normalmente preenchidas por pontes de argila floculada, que freqüentemente incluem pequenas partículas não lixiviadas. O colapso do solo ocorre quando o solo sob carga é submetido a um aumento no conteúdo de água fazendo com que a infiltração da água decomponha os cimentos naturais ou pontes de argila, diminuindo a coesão entre os grãos. Desta maneira, a magnitude das tensões cisalhantes entre os grãos excedem a resistência das pontes de argila.

Há casos onde o colapso atinge um metro de profundidade. O entendimento do mecanismo de compressão destes solos, bem como da

¹ Trabalho realizado com apoio da EMBRAPA e FAPESP (Proc. 90/3773-7)

² Eng. Eletrônico, MSc, EMBRAPA/CNPDIA, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP

³ Eng. Civil, PhD, ETFMT, Rua Zulmira Canavarros, 95, CEP 78005-390, Cuiabá, MT

⁴ Eng. Civil, PhD, UFMT, Av. Fernando Correia da Costa, s/nº, CEP 78060-900, Cuiabá, MT

⁵ Eng. Eletrônico, PhD, EMBRAPA/CNPDIA, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP

⁶ Físico, PhD, EMBRAPA/CNPDIA, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP

CT/17, CNPDIA, dez/97, p.2

região afetada pela variação de tensões que lhes foi imposta deverá permitir um domínio das técnicas construtivas da região e a possibilidade de previsão do comportamento do recalque (afundamento) das obras ali edificadas.

Este trabalho dá continuidade aos experimentos iniciados em laboratório (Naime et al, 1996), onde foi validada a técnica de tomografia computadorizada (Crestana et al, 1996) para quantificar a redução de vazios provocada pelo colapso do solo. Neste trabalho foi empregado um tomógrafo portátil de campo desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos-SP (Naime, 1994).

As tomografias, antes e depois da prova de carga, foram realizadas no campo experimental da cidade de Campo Novo do Parecis (MT). Os solos desta região são classificados como latossolo e constituídos por 65,8% de argila, 10% de silte e 24,2% de areia. Estes solos, no seu estado natural apresentam uma porosidade da ordem de 64%. Devido à alta porosidade e, aos problemas de sazonalidade climática, os solos de Campo Novo do Parecis apresentam grandes recalques quando submetidos à um carregamento externo e ou umedecimento.

O uso de provas de carga sobre placa consiste em aplicar um carregamento (Figura 1) em uma placa rígida com 80 cm de diâmetro, apoiada sobre o solo, a 1 m de profundidade, e medir os recalques. Foi utilizado um macaco hidráulico apoiado sobre uma viga rígida e os esforços foram medidos através de uma célula de carga. O deslocamento da placa foi medido em 4 extensômetros apoiados sobre a mesma. O potencial matricial foi monitorado através de três tensiômetros instalados nas profundidades de 25, 50 e 75 cm. O carregamento foi aplicado em estágios progressivos de forma a promover uma mobilização crescente das forças de resistência do solo.



Figura 1 - Instalação do experimento de prova de carga.

CT/17, CNPDIA, dez/97, p.3

Os dados fornecidos pela prova de carga são empregados para projeto de fundações de obras de infra-estrutura tais como rodovias, silos, armazéns graneleiros, prédios, entre outros. Durante os 4 dias da realização da prova de carga, o tomógrafo portátil permitiu realizar tomografias em um buraco a 2 m de distância (Figura 2), antes da prova de carga, nas profundidades de 35, 55, 80, 105, 120, 150, 180 e 200 cm. Terminada a prova de carga, o tomógrafo foi instalado no buraco da prova de carga nas profundidades de 102, 107, 112, 122, 132, 140 e 165 cm. Os monolitos de solo foram cobertos com parafina, para conservar a umidade, com dimensão média de 10 cm de seção transversal. O buraco tinha 1,5 m de diâmetro.

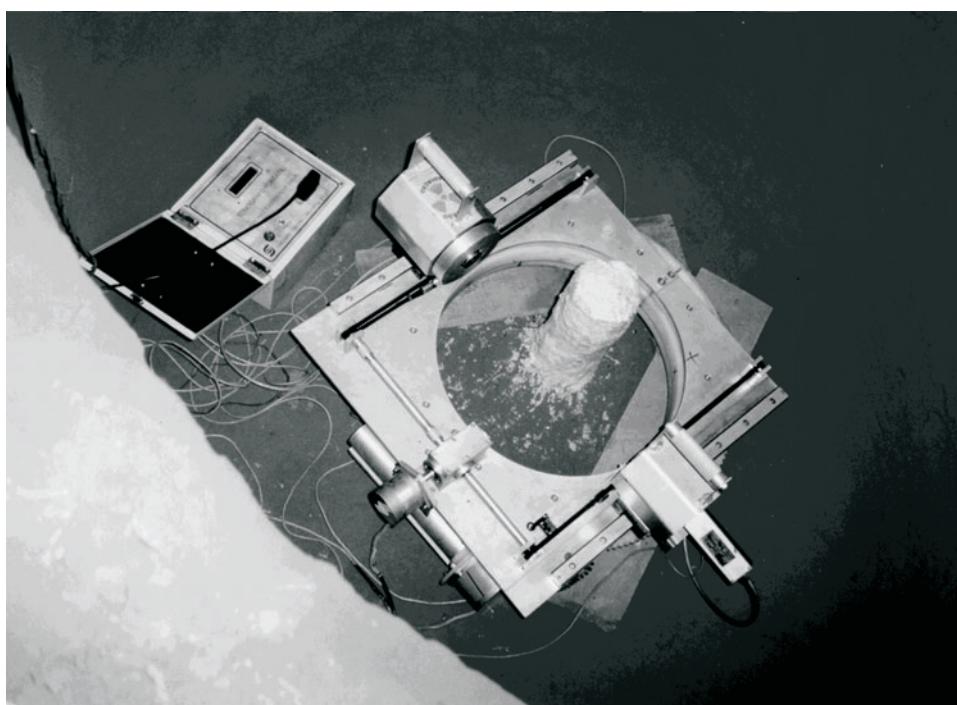


Figura 2 - Tomógrafo portátil instalado a 120 cm de profundidade.

A pressão aplicada sobre o solo atingiu 79,6 kPa, provocando um recalque de 5 cm. O potencial mátrico médio obtido nas 3 profundidades foi de 10 kPa.

A Figura 3 mostra 2 imagens tomográficas coletadas a 105 e 120 cm de profundidade, antes (3a) e depois (3b) do carregamento, respectivamente.

A imagem tomográfica (Cruvinel et al, 1990) representa as densidades de cada ponto da seção transversal do monolito em uma escala de 16 tons de cinza, aonde ao nível branco é atribuído a maior densidade e ao preto a menor densidade (ar). A partir das imagens da Figura 3 nota-se claramente o adensamento do solo. A densidade média do solo aumentou de 0,91 para 1,08 g/cm³ na profundidade de 105 cm e de 0,96 para 1,06 g/cm³ em 120 cm. A partir das medidas do potencial mátrico da água no solo realizadas através dos tensiômetros instalados em várias profundidades e da curva de retenção de água no solo foi possível medir os respectivos valores de umidade. Utilizando curvas de calibração do tomógrafo para o solo estudado foi possível medir os valores de densidade global do solo considerando conhecidos os valores de umidade (Crestana et al, 1992).

CT/17, CNPDIA, dez/97, p.4

O gráfico da Figura 4 mostra a variação da densidade do solo ao longo da profundidade. O erro experimental médio dos valores apresentados é de 1,6%. Note que as tomografias, após carregamento, foram realizadas abaixo de 1 m, cota de assentamento da placa.

É importante notar na Figura 4 que o solo sofreu alterações mais acentuadas nos primeiros 20 cm abaixo da superfície de carregamento. Isto mostra que a região mais afetada foi de aproximadamente 25% do diâmetro da placa. Isto significa, em princípio, que a fundação do edifício ou silo deve levar isto em conta. Portanto, os projetos de geotecnia e engenharia civil, nos locais onde solos colapsíveis existem, precisam tirar vantagem deste fato buscando simplificação e ou redução de custos e estabilidade da construção.

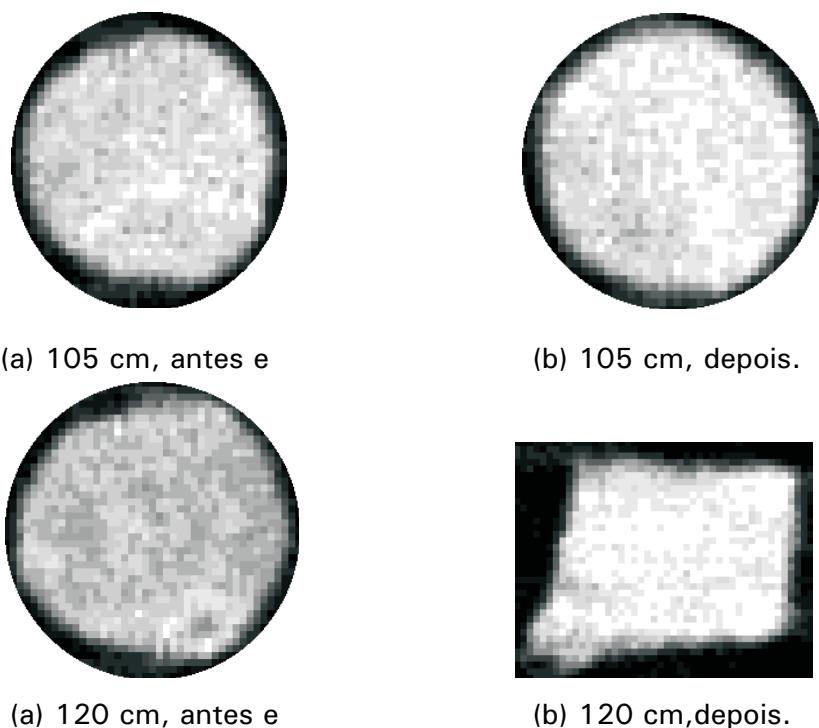


Figura 3 - Imagens tomográficas antes (a) e depois (b) do carregamento em 105 e 120 cm de profundidade.

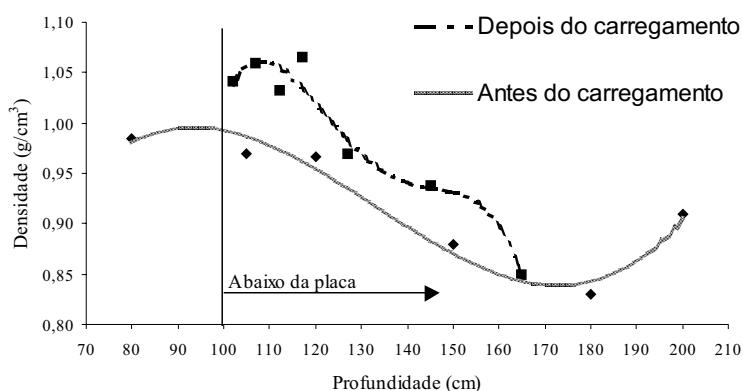


Figura 4 - Densidade do solo em função da profundidade, antes e depois do experimento com prova de carga.

CT/17, CNPDIA, dez/97, p.5

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONCIANI, W; SOARES, M.M.; CRESTANA, S. Geotechnical use of a mini tomography. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNSATURATED SOILS/UNSAT'95, 1., 1995, Paris, France. **Proceedings...** Paris: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1995, p.447-452.
- CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; VAZ, C.M.P.; NAIME, J. de M.; CESAREO, R.; NIELSEN, D.R.; REICHARDT, K. Tomografia reconstrutiva. In: CRESTANA, S.;CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A.; ed. **Instrumentação agropecuária:** contribuições no limiar do novo século. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. Cap. 4, p.152-200.
- CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; VAZ, C.M.P.; CESAREO, R.; MASCARENHAS, S.; REICHARDT, K. Calibração e uso de um tomógrafo computadorizado em ciência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.2, p.161-167, 1992.
- CRUVINEL, P.E.; CESAREO, R.; CRESTANA, S.; MASCARENHAS, S. X and ray computerized minitomograph scanner for soil science. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, New York v.39, n.5, p.745-750, 1990.
- MENEZES, R.S.; FRAGA, M.B.T. Solos colapsíveis. In: SIMPÓSIO SOBRE SOLOS NÃO SATURADOS, 2, 1994, Recife-Pe. **Anais do 2º simpósio...** Recife. 1994. p.111-116.
- NAIME, J.M.; TORRE-NETO, A.; INAMASU, R.Y.; CRUVINEL, P.E.; CRESTANA, S. Projeto e construção de um tomógrafo portátil para investigações não-destrutivas, em campo, do sistema água-solo-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 10; CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CONTROLE AUTOMÁTICO, 6, Rio de Janeiro-RJ, set. 1994. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Automática, 1994. v.2, p.767-772.
- NAIME, J.M.; CONCIANI, W.; SOARES, M.M.; CRESTANA, S. Estudo de solos colapsíveis utilizando um tomógrafo portátil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia-SP, ago. 1996. **Solo suelo 96.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 4p. CD-ROM.