

Soft Soil Brazilian Review

04

Transformando solos complexos.
Adequando-os ao melhor sistema de
fundação.

14

Solos Colapsíveis.
Como melhorar o solo com eficiência?

34

Solos com Cárste. Como Estabilizá-los?

24 - CONSULTA

Vou fazer uma obra no interior de São Paulo e tenho
informações de problemas com solos expansivos
e/ou colapsíveis. Como posso identifica-los?

Transformando solos Complexos.

Adequando-os ao
melhor sistema de
fundação.





EDITORIAL

Para evidenciar a importância dos solos complexos na engenharia geotécnica, torna-se necessário levantar os danos provocados entre as seis catástrofes naturais de maior risco no mundo, sendo elas: I) terremotos; II) escorregamentos; III) solos expansivos; IV) ciclone; V) furacão e VI) enchentes. Os danos causados por solos expansivos e colapsíveis, em edificações e pavimentos, é maior que os causados por outros desastres naturais, incluindo terremotos e inundações. De acordo com NYS DHSES (2014), estima-se que os EUA tenham um custo de aproximadamente US\$ 300 milhões/ano, devido a danos causados por colapso e expansão de solos. Entretanto, no Brasil, não há dados registrados que permitam, em uma análise semelhante, contabilizar custos de modo a compor um banco de dados unificado nacional, tampouco um tratamento estatístico desses dados, de modo a gerar conhecimento acerca dos prejuízos, como os citados em outros países, ou a posição na classificação de riscos geológicos. Projetos de fundações, em solos potencialmente complexos, devem adotar técnicas de melhoramento, frequentemente o genenricimento. A maior par-

te do impacto direto, que ocorre como consequência de processos de colapso de solos, são perdas econômicas, visto não se ter registro, no Brasil e no exterior, de danos provocados que tenham ocasionado perdas de vidas. Diversos pesquisadores nacionais, apresentaram trabalhos recentes, particularmente relativo a microrregiões do semiárido nordestino, onde precipitações pluviométricas são baixíssimas, na maioria parte do ano e elevadas no restante, como também em solos de áreas litorâneas, onde precipitações são, em geral, elevadas. Na identificação dos solos colapsíveis e expansivos, alguns cuidados na fase de elaboração do projeto, diminuem a possibilidade da ocorrência de deformações associadas ao umedecimento. Como estes solos estão presentes em praticamente todo o mundo e geram grandes prejuízos, principalmente em regiões onde a evapotranspiração anual excede a precipitação, particularmente em zonas áridas, há um crescente interesse em aplicar técnicas que, efetivamente, solucionem definitivamente a instabilidade inerente. Boa Leitura.

M.Sc. Joaquim Rodrigues.



SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE

Rua Correia de Araújo, 12- Barra da Tijuca

Rio de Janeiro/ RJ- Brasil- CEP 22611-070

Tel: (21) 3851-6218

EDIÇÃO

DIRETOR EDITORIAL

M.Sc. Joaquim Rodrigues

DIRETORES ADJUNTOS

Eng^o Thomas Rodrigues

Eng^o Roger Kim

Eng^a Patricia Tinoco

PUBLICIDADE, ASSINATURA

Cleide Ferreira


EDITOR DE ARTE


Victor Peres


REPRINTS EDITORIAIS

Mariana Tati


FALE CONOSCO

 softsoilgroup.com.br

 @engegraut

 (21) 3154-3250

atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br

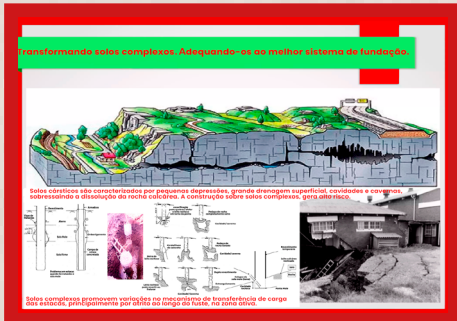
 te.com.br

"Soft soil Brazilian Review" é uma revista digital com publicação bimestral

Receba notificação de nossa revista.

Inscreva-se em:

atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br



Sumário

Transformando solos complexos. Adequando-os ao melhor sistema de fundação. 04

M. Sc. Joaquim Rodrigues

Solos Colapsíveis. Como melhorar o solo com eficiência? 14

Eng. Patricia Karina

Solos com Cárste. Como Estabilizá-los? 34

Eng. Thomas Kim

Capa



A progressão da compreensão da natureza dos solos complexos colapsíveis, expansivos e cársticos, nestes últimos 40 anos, trouxe contribuição, tanto para o estudo teórico como para análises numéricas.

Seções

Editorial 02

Agenda 29

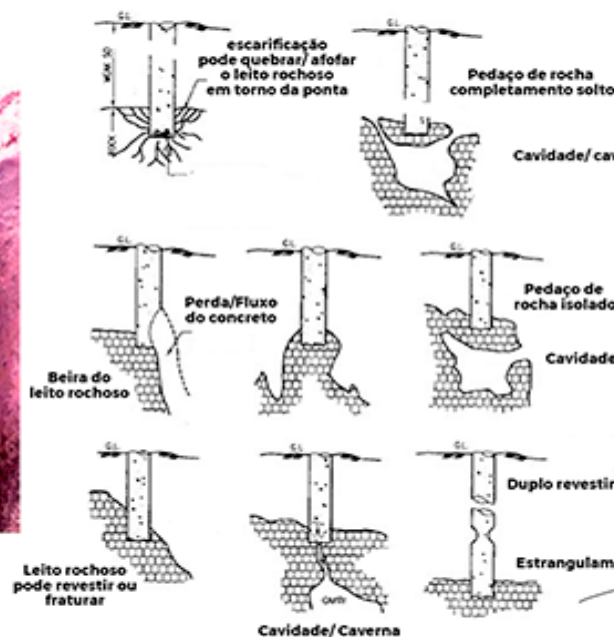
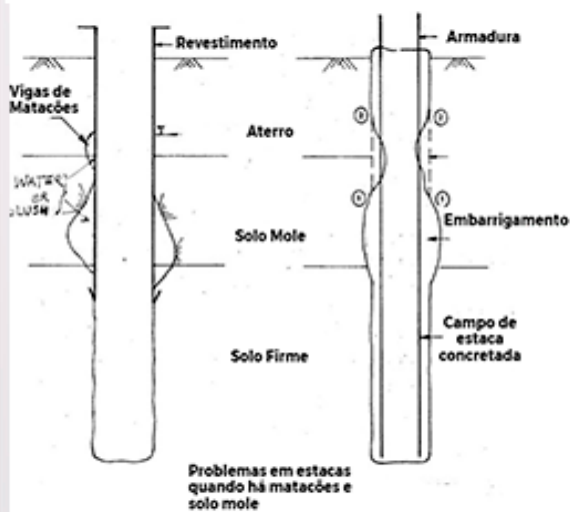
Consulta 22

softsoilbrazilianinstitute.com.br

Transformando solos complexos. Adequand

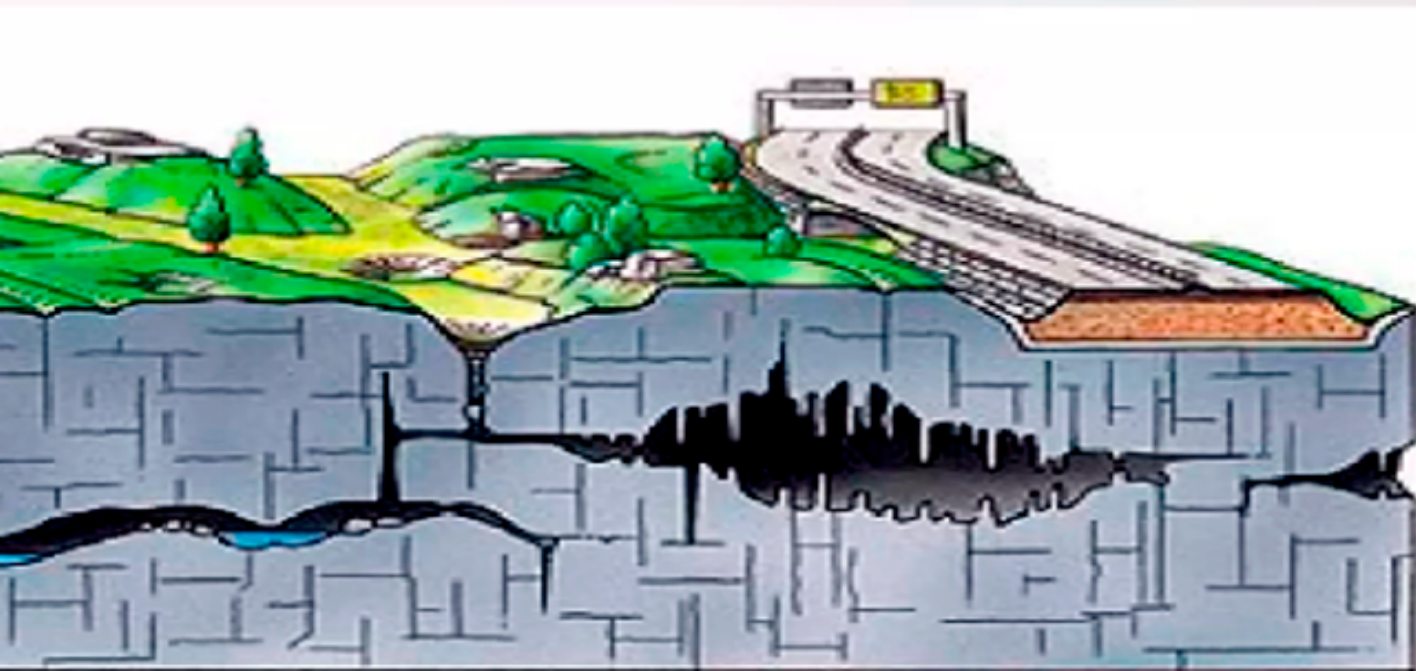


Soos cársticos são caracterizados por pequenas depressões, sobressaindo a dissolução da rocha calcárea. A construção s



Soos complexos promovem variações no mecanismo de trans das estacas, principalmente por atrito ao longo do fuste, na zon

o-os ao melhor sistema de fundação.



grande drenagem superficial, cavidades e cavernas, sobre solos complexos, gera alto risco.



ferência de carga na ativa.

A fundação de qualquer estrutura exige condições geológicas estáveis, o que implica, necessariamente, que o local esteja isento de riscos geológicos, além de ser estável frente à problemas geotécnicos, o que torna necessário medidas de melhoramento do solo. Estes problemas são pertinentes às seguintes circunstâncias:

A Heterogeneidade litológica, com solos tendo resistências e deformabilidades diferenciadas na área do empreendimento;

B Solo resistente profundo, em relação à cota de fundação, o que implica em simples melhoramento do solo e execução de fundação direta, se o empreendimento for do tipo horizontal, como por exemplo, aeroportos, áreas portuárias, estradas, áreas logísticas, etc. Se o empreendimento for do tipo vertical, o que exige grandes cargas, adota-se fundação profunda, não esquecendo-se que a área em torno, com aterros e cargas menores, necessitará de melhoramento do solo.

C Fatores geoambientais adversos, como nível freático alto, presença de minações que induzem forças infiltrantes diferenciadas, terrenos com forte inclinação, presença de água freática em solos contaminados, taludes submersos, etc.

D Aterros sanitários ou de outro tipo apresentando ausência de parâmetros geotécnicos padronizados, frequentemente com resistência próxima de zero e geometria errática.

E Problemas geológicos, como carst, solos expansivos, colapsíveis, etc.

A expansibilidade de um solo é sua capacidade de experimentar mudanças de volume devido à entrada de água. Caso se aplique uma pressão, visando evitar esta expansão, a magnitude necessária para que se mantenha o estado volumétrico inicial deverá ser igual a tensão de expansão no solo. O fenômeno expansibilidade está vinculado à capacidade de alguns solos argilosos, em especial solos com componentes montmoriloníticos, experimentarem modificações expansivas em sua estrutural original. Não abrangendo certos solos que, em condições especiais de descompressão, por escavação por exemplo, provoquem alívio de tensões, tendendo a apresentar inchamento/expansão na direção da escavação.

As questões a, b e c, acima, frequentemente, exigem apenas o melhoramento do solo com geoenrijecimento, incluindo-se medidas de drenagem, aterros, etc. No entanto, as questões d e e necessitam processo de geoenrijecimento com outros tipos de grouting. Em resumo, os solos complexos mais frequentes, que exigem melhoramento de solos, são:

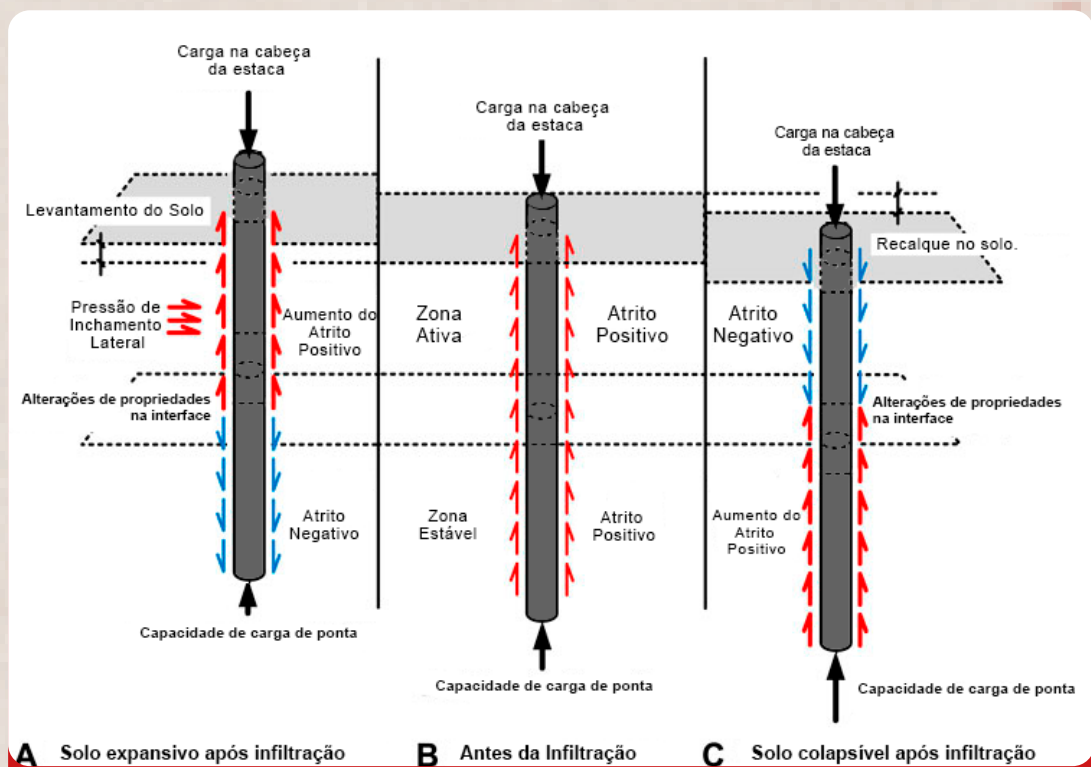
Solos expansivos

Solos colapsíveis, e

Solos cársticos.

Solos expansivos e colapsíveis sofrem alterações significativas de volume, em resposta às alterações do conteúdo d'água. Por exemplo, variações no mecanismo de transferência de carga de estacas, associado com infiltração d'água no solo, ocorrem predominantemente por atrito ao longo do fuste, particularmente dentro da zona ativa. Como mostrado na figura a seguir, há grande quantidade de atrito positivo, que surge ao longo de todo o comprimento da estaca, juntamente com a sua resistência de ponta, antes da infiltração d'água. Quando a água infiltra, na zona ativa, ocorrem alterações significativas no comportamento mecânico do solo, tanto devido a reduções na sucção, como nas consequentes alterações induzidas no volume do solo. Com este cenário, a pressão do inchamento (expansão) provocada, atua como incremento adicional à pressão lateral do solo, conforme visto na figura a seguir. As propriedades da resistência da estaca, nesta interface, diminuem significativamente. O des-

locamento relativo solo – estaca, certamente, levantará a estaca devido à movimentação do solo, instabilizando-a. Uma vez levantada, ocorre atrito negativo nesta mesma zona. O comportamento típico das estacas, em solos colapsíveis, é apresentado na figura a seguir. Semelhantemente ao que ocorre com estacas em solos expansivos, as propriedades da resistência ao cisalhamento, na interface, diminuem com a redução da sucção, associado com a infiltração d'água. O recalque do solo, devido ao seu colapso contribui, uma vez mais, para a instabilidade das estacas. Por este motivo, gera-se atrito negativo na zona ativa. Portanto, o atrito positivo na zona estável e a pressão na ponta da estaca aumentam, para equilibrar a contribuição da carga adicional, proveniente do atrito negativo. Assim, o mecanismo de transferência de cargas de estacas e até colunas (de brita, DSM, etc), em solos não saturados, com histórico de deformações volumétricas (isto é, solos expansivos, e colapsivos) poderão ser significativamente influenciados pelo teor de umidade com alterações na sucção.



Em áreas de rochas calcárias solúveis, com alta precipitação superficial e água livre fluindo no solo, há efeitos erosivos significativos/ denominado carstificação. As cavernas carsticas são, portanto, espaços subterrâneos formados pela carstificação de rochas solúveis. A existência de cavernas cársticas, destrói a integridade do maciço rochoso, reduzindo enormemente sua re-

Figura 1 - Variações do mecanismo de transferência de carga de estacas em solos não saturados, com significativa alterações de volume no momento da infiltração.

sistência e estabilidade. Com o rápido desenvolvimento da infraestrutura econômica social brasileira, onde impera a aceleração do processo urbanístico, torna-se imperativo utilizar áreas onde há a condição de solos complexos, como argilas moles, solos expansivos, colapsivos e cársticos, não adequados para fundações. A utilização do melhoramento do solo, com geoenrijecimento, podendo ser complementado com fundação profunda, com estaqueamento moldado no local, por exemplo em solos cársticos é a solução natural. A estabilidade de fundações cársticas é crucial na engenharia geotécnica. A espessura do telhado de cavernas/cavidades, seu tamanho, extensão e localização, são fatores principais, que influenciam a capacidade suporte da futura Fundação. O estabelecimento de um modelo constitutivo de estrutura geotécnica, Através de elementos finitos, permite prever a deformação e a estabilidade da Fundação cárstica, tornando-a altamente viável na medida em que são caracterizados por pequenas depressões, grande drenagem superficial, cavidades e cavernas, onde sobressai a dissolução da rocha calcária. Devido a suas particularidades, pertinentes à sua natureza, são áreas extremamente frágeis, e representam um patrimônio natural notável, devido a grande ocorrência de rochas carbonáticas, com grande importância econômica. Estes ecossistemas, uma vez danificados, incluindo-se o relevo superficial e os recursos subterrâneos, demora-se muito tempo para se recuperar. Por esta razão, solos cársticos devem ser melhorados com extremo cuidado.

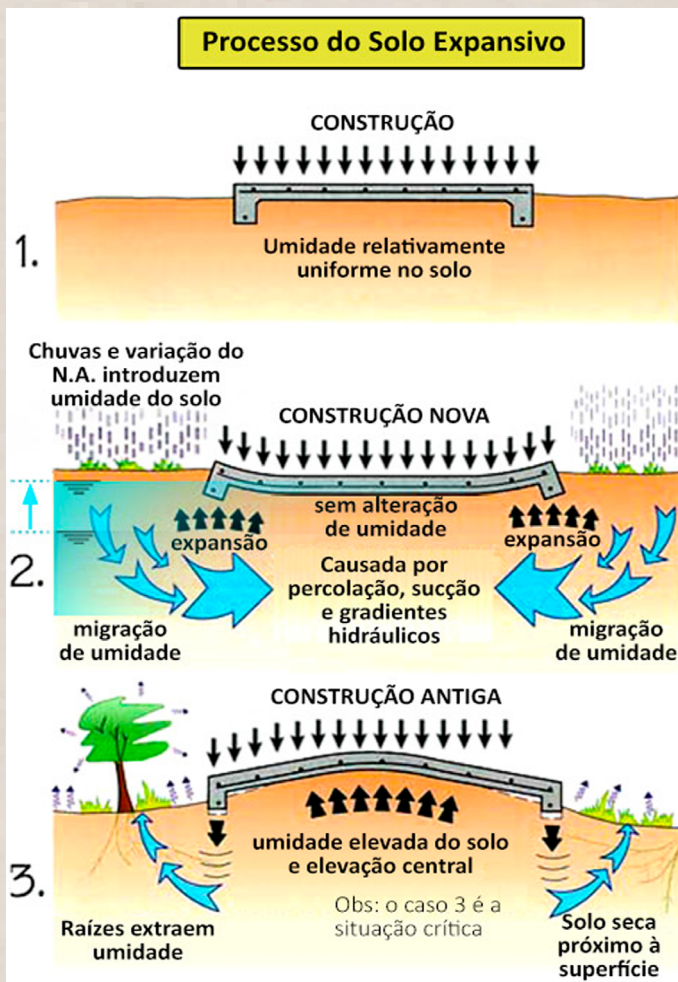


Figura 3 - Desenvolvimento do processo expansivo na interface solo-estrutura



Figura 2 - Exemplo de uma rodovia danificada com subleito apresentando argila expansível danificada não identificada e sem qualquer melhoramento.

Voltando ao solo expansivo, considerando-se que a expansividade está relacionada ao conteúdo de argila, é habitual empregar parâmetros de caracterização de argilas para avaliar e graduar sua possível expansividade.

Tabela 9.1: Graus de expansividades e valores médios de parâmetros geotécnicos.

Grau	Expansividade	Finos (%)	Limite Líquido	Índice Lambe (kPa)	Pressão de Inchamento (kPa)	Inchamento Livre (%)
I	Baixa	<30	<35	<80	<25	<1
II	Baixa a média	30-60	35-50	80-150	25-125	1-4
III	Média a alta	60-95	50-65	150-230	125-300	4-10
IV	Muito alta	>95	>65	>230	>300	>10

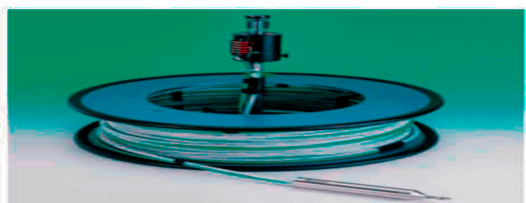
Figura 4 - Graus de expansividades e valores médios de parâmetros geotécnicos

Geralmente considera-se 4 graus de expansividade, de acordo com a tabela acima, na qual aparecem os intervalos de volumes que definem a graduação apresentada, com relação ao conteúdo de finos e limite de liquidez. Também utilizam-se ensaios de laboratório, sofisticados, com o intuito de se avaliar a expansividade. São eles:



Perfilômetro de Recalques

O **Perfilômetro de Recalques** permite medir recalque e estabelecer um perfil contínuo ao longo de um tubo instalado horizontalmente. Para tanto é instalado um tubo PEAD (Polietileno de Alta Densidade) no aterro por meio de escavação rasa no sentido transversal. O princípio de funcionamento do sensor baseia-se na pressão de um líquido contido num reservatório sobre uma membrana, a qual está solidária a um fio de aço tensionado. A variação da tensão no fio é proporcional à variação da frequência de vibração do fio. A calibração efetuada em laboratório fornece a relação entre a altura de coluna d'água e a frequência de vibração. As leituras estão isentas de variações barométricas, uma vez que o sensor é ventilado.



Para maiores informações, acesse: www.rogertec.com.br ou atendimento@rogertec.com.br



1**Ensaio de Lambe;****2****Ensaio de pressão de inchamento;****3****Ensaio de inchamento livre.**

Figura 5 - Aparato de Lambe para caracterizar a expansibilidade do solo.

Solos expansivos podem ser encontrados em várias regiões do país. Entre as principais formações expansivas conhecidas, estão as bacias sedimentares do Recôncavo Baiano, do Paraná e do Rio Grande do Sul. Em Pernambuco, identificou-se solos expansivos nos municípios de Afrânio, Petrolina, Cedro, Cabrobó, Salgueiro, Floresta, Serra Talhada, Petrolândia, Inajá, Ibimirim, Carnaíba, Nova Cruz, Paulista, Olinda, Recife e Cabo. O fato é que, durante os meses de seca, o terreno perde água por evaporação, o que produz contração e fissuração superficial. Posteriormente, quando o tempo seco é interrompido, a água superficial penetra nas fissuras, satura a argila, originando aumento do volume da “capa ativa”, zona afetada pela modificação climática. Trata-se de uma situação extremamente grave, quando ocorre ao longo de empreendimentos horizontais como rodovias, construção de áreas logísticas, áreas portuárias e ferrovias, o que ocasiona uma série de patologias características.

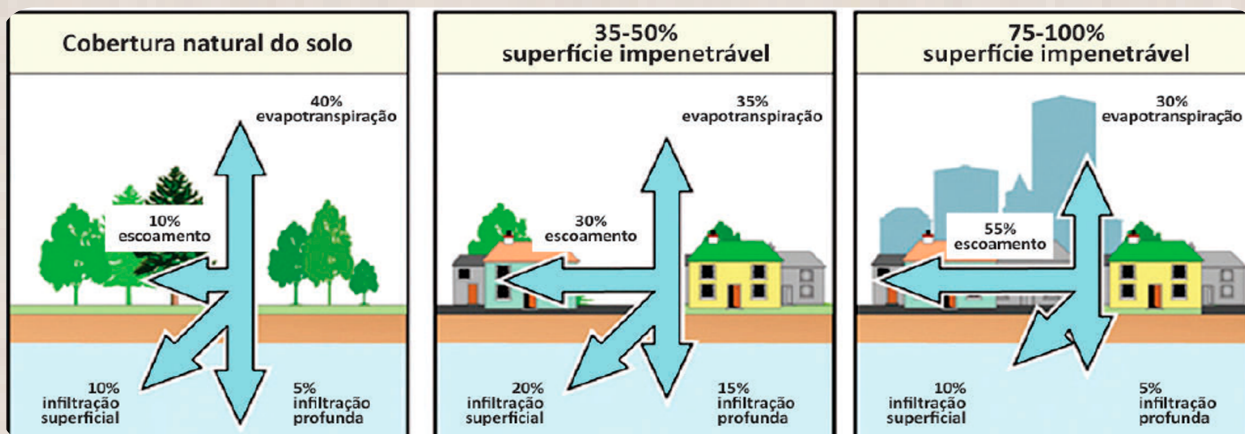


Figura 6 - Diagrama de como a vegetação natural e a engenharia verde afetam o processo e a infiltração da água.



Figura 7 - Expansão do solo, neste pavimento industrial, causou levantamento do concreto.

A expansão pode, também, ser definida como medida da deformação volumétrica ou axial do solo, motivado por condições de tensões e sucção.

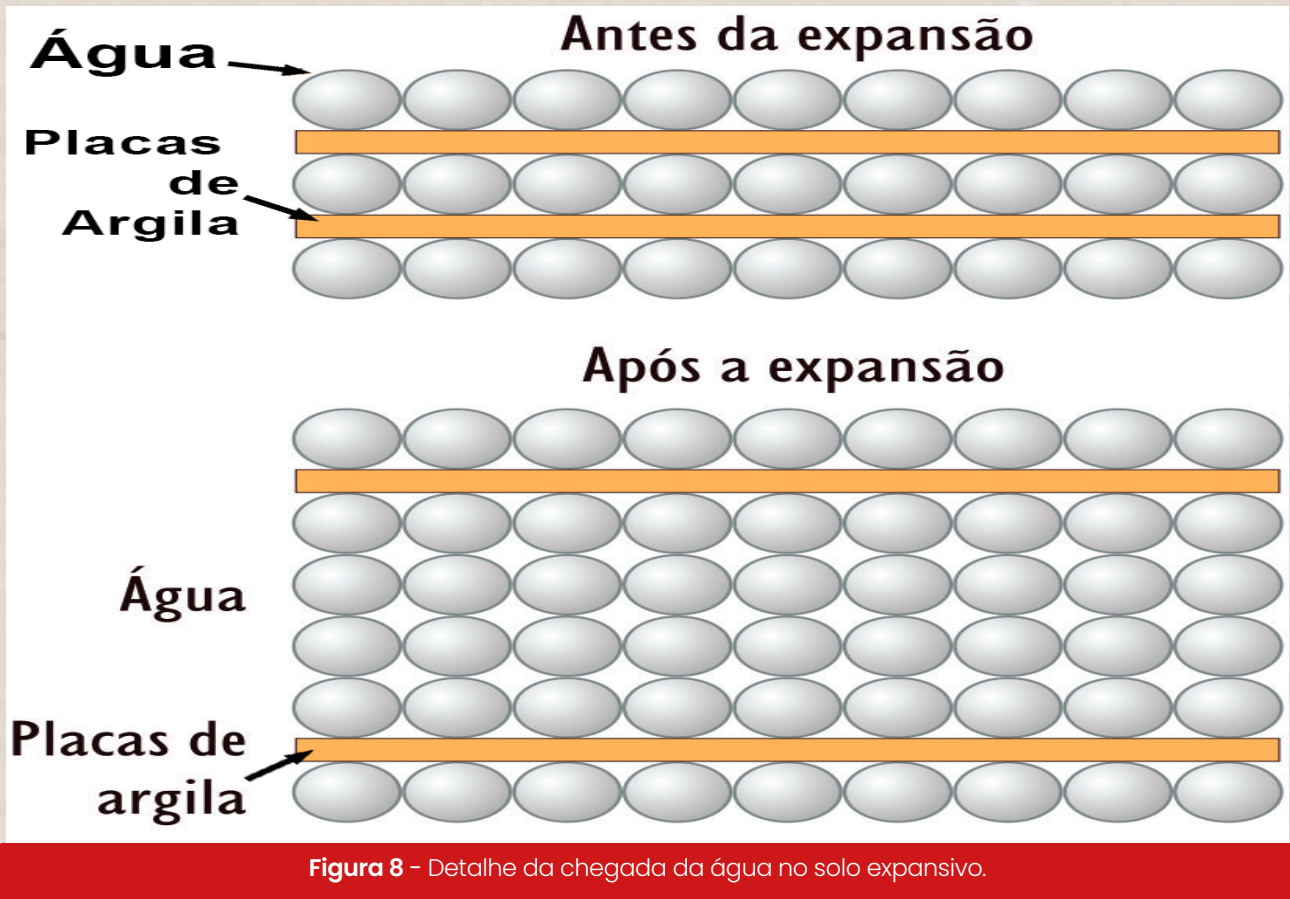


Figura 8 - Detalhe da chegada da água no solo expansivo.

O efeito do levantamento do solo corresponde ao deslocamento de um determinado ponto no seu interior, devido às alterações que ocorrem devido a sucção e tensões que interagem com a expansividade intrínseca. O levantamento de um solo expansivo pode ocorrer por uma das três formas:

Movimento geral para cima, começando fracamente após o início da construção e terminando alguns anos depois, após seu final, provavelmente devido à interrupção da evaporação pela superfície do solo.

1

Expansão-contração cíclica sazonal, normalmente em torno do perímetro da edificação, primeiramente relacionada à quantidade e frequência da chuva e velocidade de sua evaporação.

2

Levantamento local, que pode ser resultado de vazamentos em redes de água ou esgoto ou do sistema de drenagem com problemas.

3



Medidor Portátil do Perfil de Recalques

Este equipamento mede, precisamente, recalques e levantamentos através de aços, estradas, tanques, etc. O perfilômetro tem sonda conectada com cabo sinalizador e tubo genérico com líquido especial. Quando a sonda passa através do tubo inclinômetro ou qualquer tubo de PVC, analisa a pressão existente, calculando-a como deslocamento vertical.

- Aplicações:**
- Aterros rodoviários e barragens.
 - Reservatórios de água.
 - Pontes e viadutos.
 - Recalque do solo de fundação.



Para maiores informações, acesse: www.rogertec.com.br ou atendimento@rogertec.com.br



Diminuir as incertezas gera mais SEGURANÇA



As variações do clima trazem muitas incertezas e problemas para a realização de obras e são responsáveis por + de **15%** dos atrasos e aumentos de custos no setor.

Sistema para gestão de risco de impacto climático no planejamento e execução de obras



Aumente a produtividade e reduza custos durante a ocorrência de chuvas com previsão personalizada e alertas de tempestade em tempo real.



<https://www.nimbusmeteorologia.com.br/>

<https://www.linkedin.com/company/nimbusmeteorologia>



Figura 9 - Permeation Grouting com soluções aquosas aglomerantes para neutralizar o efeito expansivo deste local no interior de uma indústria.

Referências

- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil M.Sc. formado no Rio de Janeiro em 1977, pós-graduado pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1999. Diretor do Soft Soil Group e da Engengraut Geotecnia e Engenharia, associada à ABMS e ao American Society of Civil Engineers desde 1994. Desenvolveu duas técnicas de tratamento de solos moles, sendo motivo de patente o GEOENRIJE-CIMENTO, utilizada hoje em todo o Brasil.
- AFLITOS, A.O., PEREIRA, J.H.F., CAMAPUM de CARVALHO, J. et al. (1990). "Projeto Formoso A - Implantação de Obras Localizadas com Fundações em Solos Colapsíveis". XI CBGE e IX COBRAMSEF. Salvador. Vol.2, p.101-108.
- Kakoli, S. T. N., Hanna, A. M., and Ayadat, T. (2011). "Simulation of Collapsible Soils Subjected to Inundation," in Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 5-9 October 2009, (Alexandria, Egypt: IOS Press), 3431-3434
- ARAGÃO, C.J.G. & MELO, A.C. (1982). "Fundações Rasas em Solos Colapsíveis no Semi-Árido em Pernambuco". VII Cong. Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. ABMS, Olinda/Recife. Vol.2, p.9-40.
- Al-Omari, R. R., Fattah, M. Y., and Fadhil, S. H. (2017). "Adhesion Factor of Piles Embedded in Unsaturated Swelling Soil," in 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, September 2017 (Seoul Korea: Stress transfer), 2703-2706.
- BANDEIRA, A. P. N.; SOUZA NETO, J. B.; MELO, C. E.; MOREIRA, E. B. Caracterização de Solos Colapsíveis no Município de Juazeiro do Norte, interior do Ceará.
- Liu, Y., and Vanapalli, S. K. (2021). Mechanical Behavior of a Floating Model Pile in Unsaturated Expansive Soil Associated with Water Infiltration: Laboratory Investigations and Numerical Simulations. *Soils Found.* 61 (4), 929-943. doi:10.1016/j.sandf.2021.06.004
- Fan, Z. H. (2007). Research on Swelling-Shrinkage Characteristic and Pile-Soil Interaction of Expansive Soil Foundation. Changsha, China: Central South University. Ph.D thesis.
- BARDEN, L., MCGROW, A. e COLLINS, K. (1973). "The Collapse Mechanism in Partly Saturated Soil". *Engineering Geology*, Vol. 7, pp.49-60.
- BENVENUTO, C. (1982) "Uma Avaliação Teórico - Experimental do Comportamento de Alguns Solos Colapsíveis". Tese de Mestrado, Escola Politécnica/USP, vol. 1.
- BURLAND, J.B. (1965). "Some Aspects of the Mechanics Behavior of Partly Saturated Soils. In Moisture and Moistures Changes in Soils Beneath Covered Areas". Butterworths, Sydney, Australia, p.270-278.
- Fattah, M. Y., Al-Omari, R. R., and Fadhil, S. H. (2020). Load Sharing and Behavior of Single Pile Embedded in Unsaturated Swelling Soil. *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* 24 (12), 1967-1992. doi:10.1080/19648189.2018.1495105



SOLOS COLAPSÍVEIS. COMO MELH



É comum supor-se que somente solos arenosos ou siltosos sofram colapso. Contudo, diversos casos de solos, com forte porcentagem de argila, predominantemente plásticos, além de compactados, mostram-se passíveis de sofrer colapso. Atualmente, é amplamente aceito que, por exemplo, um tipo



HORAR O SOLO COM EFICIÊNCIA?



Demonstração de danos típicos causados pela colapsividade do solo.

de solo compactado, no lado seco da curva de compactação, pode produzir estrutura colapsível, seja devido ao baixo teor de umidade, seja pelos baixos pesos específicos presentes. Duas definições interessantes são apresentadas à seguir.

• “Solos colapsíveis ou subsidentes são estruturalmente instáveis, apresentando mudança brusca no seu comportamento tensão-deformação, quando aumenta seu grau de saturação, sem mudança no estado de tensões.”

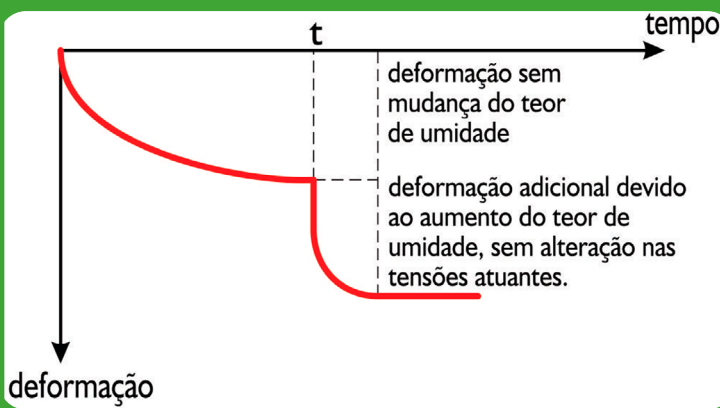


Figura 2 - Conceito básico de colapso.

• Observa-se colapso, também, em alguns solos não saturados, que apresentam brusca redução de volume, quando se aumenta a umidade podendo ser, também, necessário modificar o estado de tensões atuantes (figura ao lado). Deve-se entender, por mais súbita que seja a redução de volume, que esta velocidade será muito maior do que aconteceria no adensamento do solo argiloso saturado”.



Figura 3 - Colapso do solo por processo de movimentação d’água no solo.

Assume-se, que o colapso está sempre associado a brusca perda de resistência do solo em relação ao tempo, devido a quebra das ligações cimentantes entre suas partículas maiores em estado não saturado. Sugere-se que solos colapsíveis dividem-se em duas categorias:

1

Que colapsam após inundações, com tensões totais iguais à do peso do solo que estava acima.

2

Para apresentar colapso, sugerem uma tensão total maior do que o peso do solo acima.



Medidor de Recalques com Alta Sensibilidade

O medidor de recalques com alta sensibilidade consiste em uma série de vasos contendo sensores de nível de fluido interligados por um tubo cheio de líquido. Um vaso de referência é posicionado em um local de referência estável associado a sensores adicionais posicionados em locais diferentes, aproximadamente na mesma elevação. O recalque diferencial, ou levantamento, entre qualquer um dos sensores, resulta na variação de nível do líquido dentro dos tubos. O sistema é particularmente apropriado para situações críticas onde altas resoluções são necessárias. É possível detectar oscilações de elevação de até 0,02mm, aproximadamente.



Para maiores informações, acesse: www.rogertec.com.br ou atendimento@rogertec.com.br

FIQUE POR DENTRO DE TODAS AS NOVIDADES DO MEIO GEOTÉCNICO SOLICITANDO SEU WEBNAR

Conhecimento

Mantenha-se atualizado em relação às tecnologias de melhoramento de solos moles.

Comodidade

Acesse nossa plataforma de ensino à distância, em seu computador, tablet ou smartphone.

Feedback

Tire todas as dúvidas com profissionais do mercado, **gratuitamente.**



Solicite seu webinar através do número: (21) 99359-9105

Para maiores informações, acesse: <http://www.softsoilgroup.com.br/webinar>
ou envie um e-mail para: atendimento@softsoilgroup.com.br



Esta segunda categoria compreende solos que tem características de cimentação nos contatos das partículas.

Por exemplo, solos compactados que sofrem colapso tem, tipicamente, um tipo aberto de estrutura com muitos espaços vazios, o que possibilita a formação de estruturas meta estáveis.

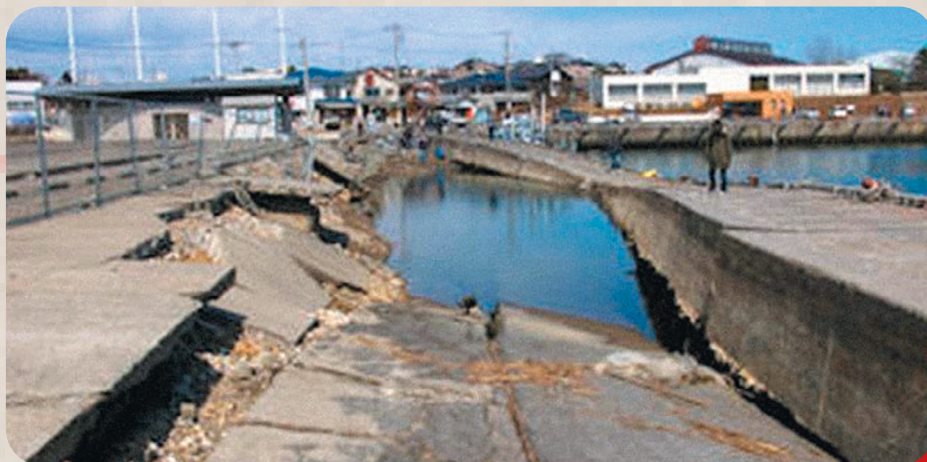


Figura 4 - Processo de ruptura rápida devido ao colapso do solo.

O peso específico inicial e o teor de umidade das amostras de solo, no instante da compactação são, geralmente, considerados como propriedades primárias que controlam a quantidade do colapso. Diversos pesquisadores sugerem tendência para colapsar, quando o peso específico seco é menor que $1,6 \text{ ton/m}^3$. Outros afirmam que esta asserção não pode ser tomada como definitiva, no entanto, aceita-se que o comportamento do colapso é dependente do teor e do tipo da argila, e que solos não saturados, com peso específico seco menor do que $1,6 \text{ ton/m}^3$, ficam sujeitos à colapso. Nota-se, contudo, que nem todos os solos, com baixo peso específico, são colapsáveis por natureza. Ao mesmo tempo, estabelece-se que a condição inicial não saturada, é pré-requisito para o colapso.

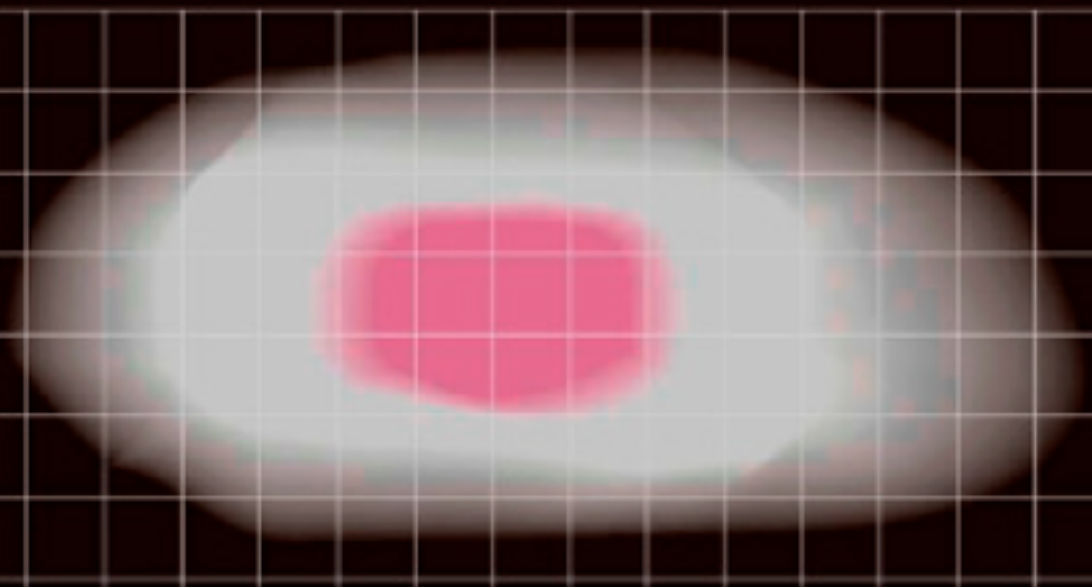


Figura 5 - Processo de ruptura rápida devido ao colapso do solo.

A nível de laboratório, o ensaio edométrico consagrou-se como um dos que fornecem melhores informações com relação às características e parâmetros do colapso do solo. Contudo, recentemente, pesquisadores e geotécnicos têm feito críticas acentuadas às condições das amostras quando do ensaio edométrico (atrito da amostra com o anel e impedimento à deformação lateral). Estes

ensaios são, também, utilizados para estimar a provável quantidade de colapso. Os mecanismos prováveis, envolvidos no fenômeno, foram sugeridos por diversos pesquisadores, diferindo consideravelmente do solo mole e de seu processo de consolidação clássico, onde a variação do volume total, do solo saturado, ocorre como processo transiente. O colapso, parece ocorrer em um período de tempo relativamente curto, em resposta à infiltração d'água com uma tensão vertical constante. Um aspecto importante é o da tensão vertical total ser, de fato, constante durante o processo de inundação. Pode ser, também, fruto de um rearranjo radical das partículas de solo, resultando em uma redução significativa no volume total de sua massa.

contaminação de solo?



O segredo do tratamento de solos contaminados está na adequação do processo de compressão, confinamento e adensamento do solo, analisado com piezômetros e imagens tomográficas antes e depois.

Confie em quem tem experiência.



www.engegraut.com.br

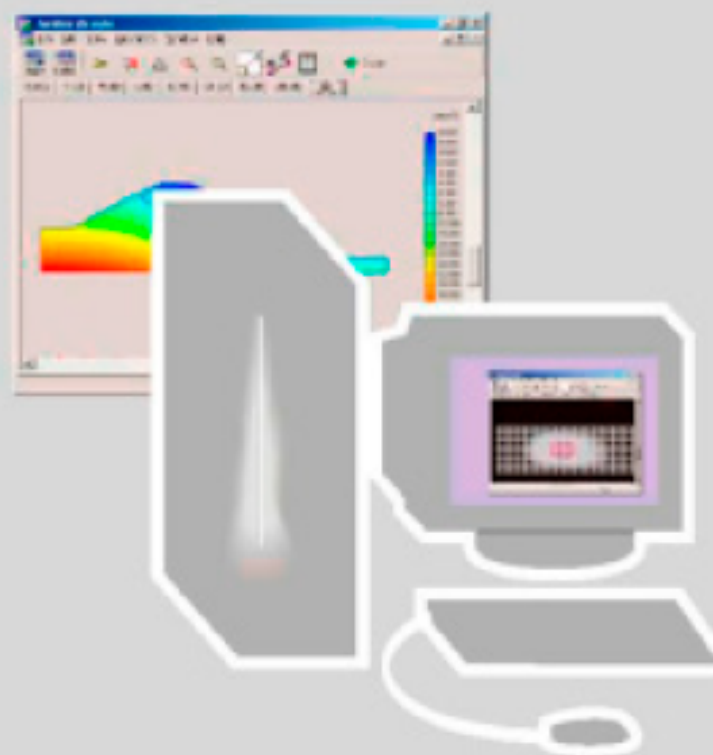




Figura 6 - Colapso do solo, sob o pavimento, após um prolongado período de chuvas.

Aceita-se, também, que o mecanismo de colapso, acompanhado de molhagem, resulta das pressões capilares que tendem a zero e o grau de saturação aproximando-se de 100%.

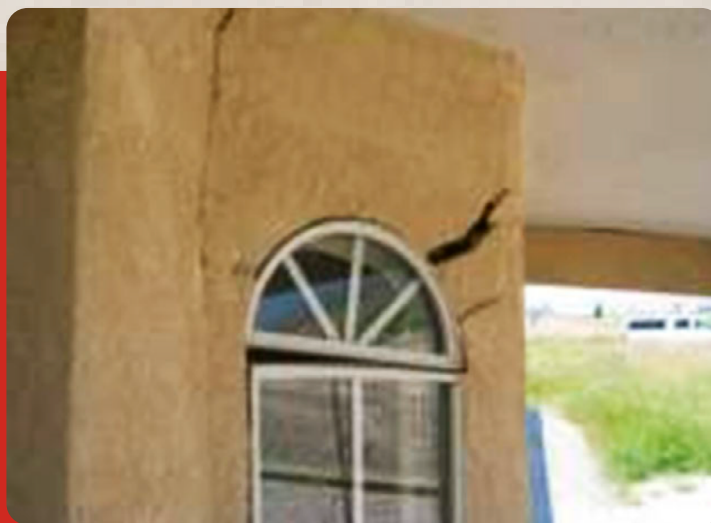


Figura 7 - Afetamento de casos devido a presença de solo colapsível.

Explica-se, também, que o mecanismo de colapso, em termos da estabilidade nos pontos de contato entre-partículas, devido à inundação, faz com que a poropressão negativa, nos pontos de contato decresça, possibilitando escorregamento e distorção entre grãos, o que provoca diminuição irreversível do volume total.



Figura 8 - Colapso do solo após intensas chuvas.

Caracteriza-se, também, o fenômeno do colapso em termos de vínculos do material fino, presente nos pontos de contato que, no caso do vínculo com material silteoso, a resistência perde-se durante a inundação, resultando num decréscimo do volume.

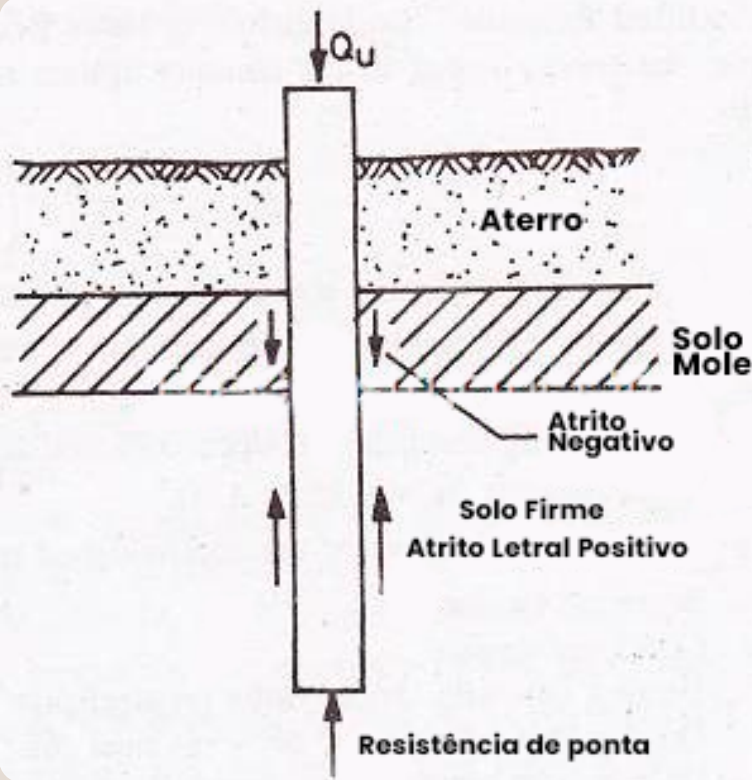


Figura 9 -

Quando um aterro ou uma carga é colocada sobre um solo compressível (mole), ocorre a consolidação. Quando estacas são feitas/ cravadas no solo, antes da consolidação finalizar, o solo move-se para baixo, em relação às estacas, causando atrito lateral negativo entre as estacas e o solo envolvente, reduzindo a capacidade de carga.

O princípio básico, portanto, associado com todos os mecanismos postulados, é que o solo não seja saturado. Outra condição básica é que a pressão neutra precisa ser negativa, não sendo, contudo, necessária para que haja o colapso. A asserção de que o solo precisa ser, previamente, não saturado para apresentar colapso, favorece a consideração do princípio da mecânica do solo não saturado. Solos residuais, que exibem alta propensão ao colapso são, geralmente, os que sofrem alto

grau de lixiviação. A divisão dos solos entre transportados e residuais, em termos de origem, é importante, pois podem apresentar colapso. A característica comum será uma estrutura colapsível associada à uma permeabilidade relativamente alta. Solos residuais, que exibem colapso substancial são, geralmente, os que sofrem alto grau de lixiviação. O fator comum, entretanto, é a presença de minerais suscetíveis à ação do meio ambiente. Conclui-se, portanto, que o colapso é um fenômeno que ocorre somente subsequentemente à saturação e, em geral, submetida a carregamento, podendo ocorrer muitos anos após a construção.

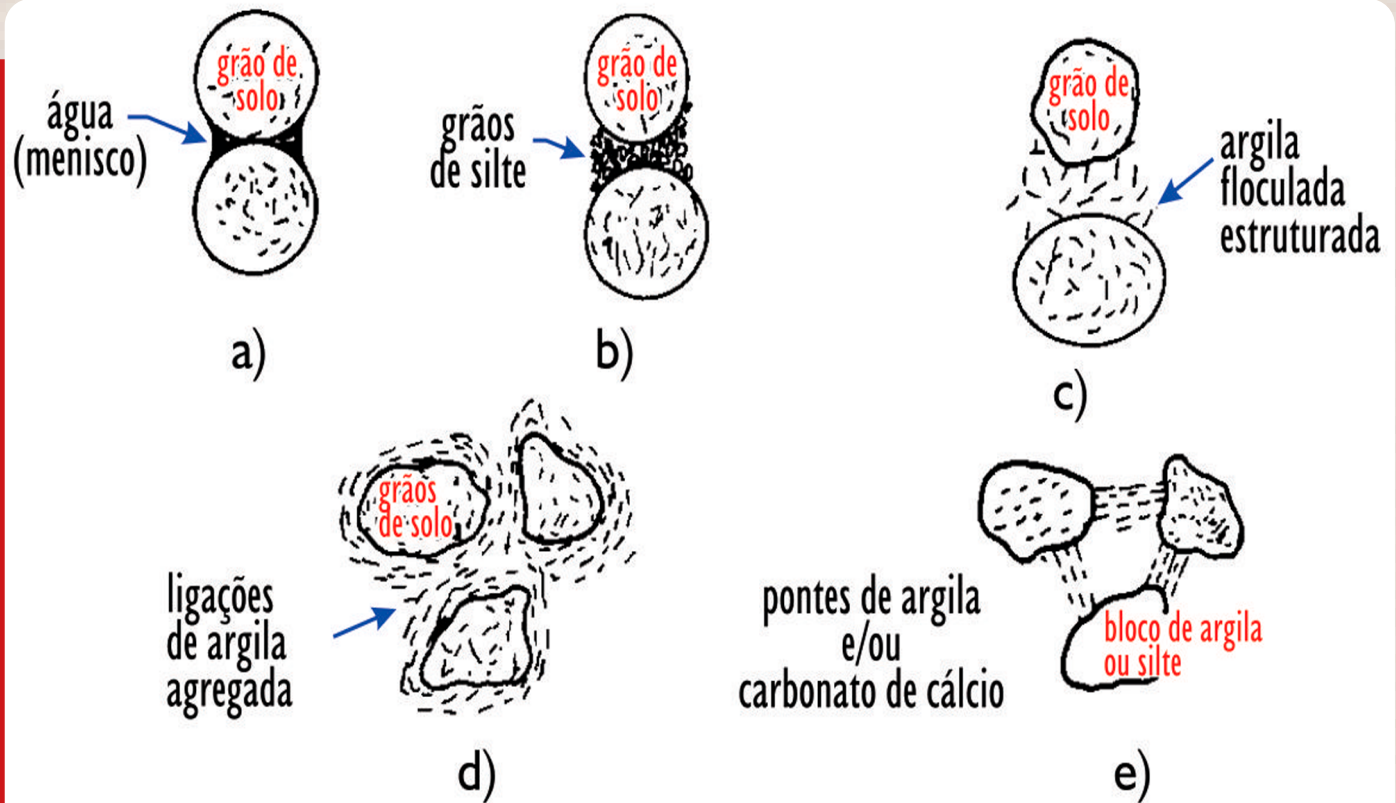


Figura 10 - O processo de colapso do solo.

Are you looking for a soil improvement in portuguese?

BEST SELLER

MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



Adquira seu exemplar através do email: ofitexto@ofitexto.com.br ou atendimento@softsoilgroup.com.br ou pelo site www.lojaofitexto.com.br

A solução universal

A solução é tão complexa quanto a do solo expansivo. Uma vez detectado, sugere-se removê-lo, recompactando-o adequadamente, assegurando-se que a água não chegue ao solo. Uma simples impermeabilização com tratamentos superficiais costuma dar bons resultados. Para o caso de problemas de colapsividade em locais já construídos sugere-se fazer o geoenrijecimento do solo com Compaction Grouting, seguido de um Permeation Grouting. A primeira técnica garante estruturar o conjunto, compactando-o. A segunda, induz um processo cimentante, impermeabilizando-o.



Referências

- Patricia Karina Tinoco é engenheira geotecnica. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- AMAPUM DE CARVALHO, J., NUNES, P. M., BERBERIAN, D. e FERREIRA, E.S. (1987), "Influencia del ph del Liquido de Saturación en la Colapsabilidad", Proceedings, VIII Congreso Panamericano de Mec. de Suelos e Ing de Fundaciones.
- CAMAPUM de CARVALHO, J.; PEREIRA, J.H.F.; GUIMARÃES, R.C., et al. (2001). "Influência da Sucção nos Resultados de SPT e SPT -T em Solos Porosos Colapsíveis". 4o Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. Anais. Porto Alegre, RS., p.509-520.
- COUTINHO, R. Q.; CASTRO, B. P. F.; DOURADO, K. C. A. 2010. Identificação, caracterização e classificação de um solo colapsível do município de Enápolis – BA. In: XV COBRAMSEG, v. 15, Gramado. Anais... Rio Grande do Sul: ABMS, 2010.
- MENDONÇA, M.B. Comportamento de solos colapsíveis da região de Bom Jesus da Lapa-Bahia. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, 1990.
- DELGADO, A., Influencia de la trayectoria de las tensiones en el comportamiento de las Arcillas expansivas y de los suelos colapsables en el laboratorio y en el terreno, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, Espanha, 1986.
- DUDLEY, J.H. (1970). "Review of Collapsing Soils". Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 96, no SM3, may, p.925-947.
- EUROCÓDIGO 7 (1997). Proyecto geotécnico. Parte 1. Reglas generales. Aenor. Edición de 1999. Madrid.
- FERREIRA, R. c., PERES, J. A. E. e OGNABANE, W., (1986), "A Determinação da Capacidade de Carga de Solos Porosos Através da Resistência à Penetração do Cone (CPT), para Projeto de Fundações Rasas", Anais, VIII Cong. Bras. de Mec. dos Solos e Eng de Fundações, Porto Alegre, pp. 201-212.
- FERREIRA, S. R. M., "Solos colapsíveis e expansivos: uma visão panorâmica no Brasil", In: Simpósio Brasileiro de Solos não Saturados, no7, v

VOU FAZER UMA OBRA NO INTERIOR DE SÃO PAULO E TENHO INFORMAÇÕES DE PROBLEMAS COM SOLOS EXPANSIVOS E/OU COLAPSÍVEIS. COMO POSSO IDENTIFICAR?

O solo é um dos materiais de construção mais utilizados pela humanidade, entretanto seu comportamento varia de acordo com a origem, tipologia da construção, clima e meio ambiente. Em algumas regiões do mundo ocorre escassez de solos adequados para obras de engenharia, seja como material de construção, seja como material de fundação para estruturas, razão pela qual torna-se necessário melhorar suas características. Solos geotecnicamente problemáticos, ou propriamente complexos, estão sendo ocupados, ultimamente, com mais frequência em áreas urbanas, e suas principais características são a baixa ou alta permeabilidade, baixa resistência ao cisalhamento e alta compressibilidade. Além disso, podem apresentar variação espacial considerável, resultante do processo de formação, fazendo com que ocorram mudanças de comportamento geomecânico, em um mesmo depósito. O problema das obras situadas em solos colapsíveis, expansivos e cársticos é recorrente em obras que encontram terrenos (lineares) e/ou hidráulicos (pois carregam água, elemento deflagrador de variações volumétricas), como

em canais de transposição, dutovias, caixas d'água, ou obras que podem sofrer grandes prejuízos como estradas, aeroportos, grandes conjuntos habitacionais, refinarias ou portos. Alguns solos não saturados, quando aumentam a quantidade de água em seus vazios, ou quando suportam carregamento e posteriormente umedecidos, apresentam variação volumétrica, razão pela qual, seu comportamento depende da variação da umidade sazonal, podendo apresentar características de compressibilidade, expansão e de plasticidade, em decorrência do aumento da umidade, contração, com ressecamento e redução da umidade. Com este cenário, edificações em solos colapsíveis e/ou expansivos podem manifestar distorções, que vão desde fissuras, que determinam a paralisação no todo ou em parte do uso da construção, levando ao Estado Limite de Serviço – ELS e, até mesmo à ruína da obra, com indícios do comprometimento da durabilidade da estrutura, não respeitando as condições especificadas para o uso normal da construção que, por sua ocorrência, repetição ou duração, atingem o Estado Limite Último – ELU.

SOLOS COLAPSÍVEIS

São, geralmente, formados por minerais estáveis em presença de água, como a caulinita e o quartzo, sendo tradicionalmente explicado pela destruição parcial do agente cimentante do solo, tendo como causas primárias a molhagem e a existência de uma pressão-limite. Todo solo suscetível ao colapso possui estrutura aberta ou porosa, potencialmente instável e parcialmente saturado, com baixa coesão e granulometria bem distribuída. O colapso estrutural do solo, caracteriza-se por ser rápido, provocando sérios danos na construção, especialmente a de pequeno porte, em que as tensões de trabalho, na fundação direta, variam entre 5 e 10 ton/m², nas camadas mais rasas do solo, onde se encontra a camada ativa. A situação de risco, mais comum, é a que a fundação é inunda-

da, seja por vazamento na rede de esgotos, seja pela percolação de águas de chuvas desprovidas de passeios laterais, levando o solo a um grau de saturação crítico (superior a 60% até provavelmente 85%) e, em seguida, a drástica diminuição de volume. Entretanto, alerta-se para a existência de tensões-limites, inferior e superior, abaixo e acima das quais a inundação do solo não produz deslocamentos verticais por colapso. Embora haja conhecimento da ocorrência do colapso em aterros de barragens, a compactação é, em princípio, um procedimento eficaz na sua prevenção, que diminui o índice de vazios e elimina a causa da metaestabilidade do solo, antecipando-se à destruição dos vínculos cimentícios dos grãos sólidos. O mecanismo de colapso difere completamente do processo clássico do adensamento, onde o acréscimo da poropressão, por ação da sobrecarga, nos interstícios da estrutura sólida do solo, é dissipado por ação da drenagem. Já o fenômeno do colapso manifesta-se por ação simples ou combinada de dois mecanismos:

1

Aumento do grau de saturação, ao excede o valor crítico inferior e,

2

Por tensões que excedem o valor limite (sobrecarga ou peso próprio).

O aumento do teor de unidade do solo dá origem, em condições de tensão total constante, a deformações volumétricas compressivas, conhecidas como deformações por colapso. O mecanismo responsável, por estas deformações, é a redução das forças capilares inter-partículas, associadas ao acréscimo do grau de saturação (redução da sucção matricial). As deformações, por colapso, ocorrem em qualquer tipo de estrutura geotécnica (fundações, aterros, escavações, barragens de aterro e túneis), provocando alterações significativas de tensões e/ou deformações.

O solo, de comportamento colapsível, pode ser encontrado em:

solos não saturados;

solos com partículas interligadas por argilas, óxido de ferro, alumínio ou carbonatos;

áreas onde a evapotranspiração excede à precipitação;

solos de origem recente e de fácil drenagem;

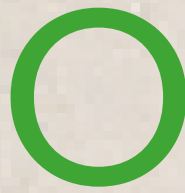
solos de estrutura porosa;

regiões tropicais úmidas com lixiviação dos horizontes superficiais;

O solo fica propenso à ocorrência de colapso, desde que possua estrutura macro porosa, com equilíbrio metaestável entre partículas maiores e sua estrutura, em particular, é mantida pela presença de algum vínculo capaz de proporcionar resistência adicional temporária. Quanto ao tipo de material, não há uma faixa granulométrica específica, que o enquadre, sendo caracterizados por estruturas fofas, com granulometria variando de silte a areia fina, geralmente uma mistura de areia fina, silte e argila, com predominância do primeiro. Todavia, há exemplos de solos reconhecidamente colapsíveis predominantemente argilosos. Os ensaios e critérios para identificação do colapso, e das características do solo colapsível, em laboratório, possibilitam

estudar parâmetros específicos (como a composição química, o arranjo estrutural do solo) e a suscetibilidade ao colapso, de modo auxiliar na caracterização, com ensaios que retratem condições ideais. Já a aplicação dos ensaios e dos critérios de campo, direta ou indiretamente, buscam a estimativa do potencial de colapso em escala real, através da análise do comportamento do solo, na umidade natural e quando submetido aos efeitos de saturação. Sua identificação é classificada com métodos indiretos, que utilizam índices físicos e limites de consistência, ou parâmetros ligados à textura através da obtenção de ensaios de laboratório e de campo, para identificar a potencialidade do colapso estrutural, sendo de informação orientativa. Os métodos diretos baseiam-se na medida do potencial de colapso do solo, e sua avaliação é realizada por meio de ensaios edométricos e do expansocolapsômetro, que tem a vantagem de levar em consideração as tensões atuantes e quantificar o potencial de colapso, sendo extensível a qualquer formação e tipo de solo. Tal caracterização é possível a partir da realização de ensaios de adensamento, para observar o comportamento do solo, além de ferramentas complementares de análise, como o ensaio de sedimentação (com e sem o uso de defloculante), o ensaio de desagregação, a curva característica solo-água e a distribuição dos poros.

SOLOS EXPANSIVOS



Os solos expansivos não seguem padrões geotécnicos clássicos, como os dos solos colapsíveis e, por isso, são complexos para a Engenharia Geotécnica. É importante evitá-los quando da construção de obras horizontais, como estruturas logísticas e rodovias, embora seja possível tratar, conviver e diferenciar os enfoques antes e após o projeto. O fato de se conhecer o potencial expansivo do solo, previamente ao projeto, tem se mostrado fundamental para evitar prejuízos financeiros, razão pela qual tem-se estudado o comportamento destes solos e a proposição para identificá-los, além da estimativa de seus parâmetros de caracterização, segundo modelos estatísticos como, por exemplo, com variação volumétrica, que pode chegar a valores superiores a 30%, quando se altera o teor de água no solo. A expansibilidade é a variação volumétrica dos minerais argilosos, devido à variação de sua umidade. Os mecanismos de expansão podem ser mecânicos ou físico-químicos, e sua combinação interfere diretamente na mudança do volume do solo potencialmente expansivo. A expansão pode ser provocada por diversos fatores, e está relacionada principalmente à dois requisitos básicos, o intrínseco relacionado com a composição mineralógica, textura e a estrutura. Os argilominerais são componentes chaves para um solo ser expansivo, entretanto nem todos os minerais argilosos experimentam modificações volumétricas, com variação de umidade. Argilas como a vermiculita e, em especial a montmorilonita, apresentam uma importante instabilidade, enquanto os argilominerais como a illita e a clorita, podem ou não ser expansivos. Os minerais de argilas interestratificados, contendo camadas de minerais expansivos, também podem apresentar expansão em função do mineral e do número de camadas presentes no interestratificado. Argilas expansivas podem controlar o comportamento de praticamente qualquer tipo de solo, se a porcentagem da argila for maior que 50%, do seu peso. Contudo, há outras características que influenciam na ocorrência da expansão como a porosidade, o perfil estratigráfico e a espessura da camada e presença ou não da cimentação. A expansão do solo pode acontecer devido a alterações estruturais ou devido à sua composição mineralógica. A primeira pode ocorrer devido a um alívio da carga (ou pelo aumento da umidade, tanto em solos ricos em minerais não expansivos como a caulinita ou em solos ricos em minerais expansivos, como é o caso da montmorilonita. Já a expansão mineralógica ocorre, principalmente, pela composição química, e o arranjo estrutural, que caracteriza cada mineral da argila expansiva, após a entrada de água entre camadas. O requisito extrínseco está relacionado com a climatologia, a hidrogeologia, a vegetação e a ocupação antrópica, que são capazes de transferir a umidade de um ponto a outro do solo. Os requisi-

tos relacionados às mudanças sazonais, estão vinculadas as variações climáticas ao longo do ano, e sofrem influência antrópica. Além disso, se em um determinado período, a precipitação exceder a evapotranspiração e a umidade do solo superar a capacidade de campo, produz-se por drenagem, a eliminação do excesso de água infiltrada. Essa água, dependendo da estratigrafia da área, pode dar lugar a um nível freático ou alimentar um já existente. Nestas condições, as alterações sazonais de umidade são pouco frequentes. Outros fatores são responsáveis pelo potencial expansivo do solo, como a distribuição das partículas da argila, sua porosidade, orientação mineralógica, cimentação, profundidade, perfil estratigráfico e outros. A identificação do solo expansivo é essencial para o sucesso do projeto, no entanto não é fácil e os índices tradicionalmente utilizados, para caracterização, como SPT, granulometria e índices de consistência, não são suficientes para determinar o grau de expansão do solo. Apontamos algumas características do solo expansivo, que podem auxiliar na identificação no campo:

1

Ausência, em geral, de árvores e arbustos;

2

Cores primárias cinzentas, esverdeadas ou azuladas;

3

Fendas poligonais amplas, profundas e, por vezes, com bordas irregulares na superfície do terreno, durante a estação seca;

4

Fácil moldagem do solo, quando umedecido, ou seja, alta plasticidade;

5

Alta pegajosidade, ou seja, aderência ao maquinário;

6

Torrões no solo e deformações produzidas no terreno molhado, são muito persistentes quando secos;

7

Quando seco, o solo é resistente, sendo difícil rompê-lo com instrumentos manuais;

8

Cortes efetuados no solo úmido adquirem, ao secar, aspecto de ruptura, produzidas em estado seco;

9

Os taludes se apresentam bem desagregados, com aberturas de junções prismáticas (estrutura do tipo prismática, com grau de desenvolvimento forte) na superfície, com queda de pequenos blocos e torrões de argila ao pé do talude; persistentes quando secos;

10

Vertissolos podem apresentar micro relevo característico, devido a movimentos verticais do solo, ocasionados por ciclos de umedecimento e secagem das argilas.

A identificação da expansividade pode ser avaliada de duas formas: a primeira com pesquisa no local, verificando vários fatores como topografia, vegetação, sinais de contração no solo, fissuras nas edificações e dados com moradores da região. A segunda forma é interpretar ensaios de laboratório, dos métodos de identificação, que pode ser na forma de ensaios mineralógicos, métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos disponibilizam resultados quantitativos, fundamentados na expansão induzida do solo, ou nas tensões necessárias para impedir que se expanda. Os indiretos são fundamentados na análise mineralógica e propriedades do material argiloso. Como métodos diretos, tem-se o ensaio de expansão “livre” e tensão de expansão, ensaios edométricos duplos e simples. E como métodos indiretos tem-se a granulometria, limites de Atterberg, difração de raio X, análise térmica diferencial, análise térmica gravimétrica, capacidade de troca de cátions, entre outros. De acordo com os produtos geotécnicos, é possível agrupar as seguintes categorias:

Carta geotécnica: Quando se expõem limitações e potencialidades do terreno e definindo-se diretrizes de ocupação para um ou vários tipos de uso.

Carta de risco: Quando prepondera a avaliação do dano potencial à ocupação, ante uma ou várias características ou fenômenos naturais, ou induzidos pela ocupação;

Carta de suscetibilidade: Quando apresentam probabilidade de desencadeamento de um ou mais fenômenos naturais ou induzidos pela ocupação;

• **Carta de risco:** Quando prepondera a

Carta de atributo (s) ou de parâmetro (s): Quando se limita a apresentar a distribuição especial da característica – geotécnica, geológica, etc., do terreno.

A investigação direta ou o conhecimento da documentação cartográfica e bibliográfica existente, auxilia no reconhecimento da distribuição espacial dos materiais inconsolidados, já que o mapeamento desses materiais permite, a observação e a realização de correlações com forças de percolação, com condições de fluxo superficial e subsuperficial, com a profundidade do nível freático e com a espessura dos horizontes não saturados (zona ativa). Elaborou-se um mapa da previsão de risco à expansividade das argilas na Espanha, em uma escala de 1:1.000.000, classificando a suscetibilidade nas categorias muito baixa, baixa a moderada, moderada a alta e de alta a muito alta, considerando-se características litológicas, climatológicas e geotécnicas. Pereira e Pejon (1999), elaboraram carta da predisposição à ocorrência de problemas expansivos, para solos localizados no noroeste da Região Metropolitana de Curitiba/PR, utilizando tensões de expansão e expansão livre. Oliveira (2002), elaborou carta de zoneamento de risco de solos colapsíveis, na área urbana da Ilha Solteira/SP, com base em informações de obras da infraestrutura urbana da rede de água e esgoto. Mais, recentemente, Aquino e Ferreira (2022) elaboraram cartas interpretativas da suscetibilidade à ocorrência de solos colapsíveis e expansivos em Teresina/PI, por meio do levantamento climatológico, geológico e pedológico; Tavares et al. (2022) elaboraram cartas de suscetibilidade à colapso e expansão dos solos no estado do Ceará, a partir das características das classes pedológicas, classificando-as em alta, média ou de baixa suscetibilidade e Santos et al. (2022) apresentaram mapas derivados da pedologia, a partir do “Mapa Exploratório – Reconhecimento dos Solos do Estado de Sergipe, 1973”, para classificar os solos quanto à suscetibilidade (alta, média e baixa) à ocorrência de colapso e expansão. No estado de Pernambuco, em especial, criou-se mapas através de levantamentos climatológicos, pedológicos e geológicos, denominados “Mapas Fundamentais”, que registram as informações sobre os diferentes componentes do meio físico. Silva e Ferreira (2003) elaboram cartas da suscetibilidade ao colapso e à expansão, devido à inundação em solos, no município de Petrolina/PE e Amorim (2004), a partir dos Mapas Fundamentais – climatológicos, pedológicos e geológicos, elaborou “Cartas Derivadas” do colapso e expansão em Pernambuco. Posteriormente, para a elaboração das “Cartas Interpretativas”, e diante da inviabilidade da realização de baterias de ensaios, por todo o território de Per-

nambuco, optou-se pelo Método Orientativo (a partir dos Mapas Fundamentais), disponíveis sobre o clima, geologia e pedologia e dos atributos, resultando nas Cartas Interpretativas da suscetibilidade ao colapso e a expansão, em três diferentes níveis (alto, médio e baixo).

Referências

- ABIODUN, A., NALBANTOGLU, Z. Técnicas de estacas de cal para a melhoria de solos argilosos. *Revista Brasileira de Geotecnia*, 52 (6) (2015), pp. 760 - 768.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro, 1994.
- ALAN, S. K.; MONDAL, A.; SHIULY, A. Prediction of CBR Value of Fine-Grained Soils of Bengal Basin by Genetic Expression Programming, Artificial Neural Network and Krigging Method. *J Geol Soc India* 95, 190–196 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12594020-1409-0>
- AL-BUSULTAN, S.; ASWED, G. K.; ALMUHANNA, R. R.; RASHEED, S. E. (2020). Application of artificial neural networks in predicting subbase CBR values using soil indices data. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 671, No. 1, p. 012106).
- ALMEIDA, G. B. de O. Avaliação da Resistência à Compressão Simples de Misturas de Solo e Escória de Cobre Aditivadas com Cimento Portland Aplicadas a Pavimentação. In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2016.
- ALONSO, E. E.; GENS, A.; JOSA, A. (1990). A constitutive model for partially saturated soil. *Geotechnique*, 40(3): 405–430.
- AMORIM, S. F. Contribuição à cartografia geotécnica: sistema de informações geográficas dos solos expansivos e colapsíveis do Estado de Pernambuco (SIGSEC – PE). 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.
- AMORIM, S. F. Estudio comparativo de métodos para la evaluación de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales: Aplicación al Pirineo Oriental. 2012. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2012.
- AQUINO, A. E. B.; FERREIRA, S. R. M. Análise Geotécnica e Caracterização Geomecânica de um Solo Expansivo de Teresina-PI. In: ANAIS DO XX COBRAMSEG, 2022, Campinas. Anais [...]. Campinas, Galoá, 2022.
- ASHAYERI, I.; YASREBI, S. Free-swell and swelling pressure of unsaturated compacted clays; experiments and neural networks modeling. *Geotechnical and Geological Engineering*. 27 (1), 137–153. 2009.



GeoNORTE

► **Data:** 07/11/2023

Local: Palmas, TO



GEOSUL 2023

► **Data:** 22/11/2023

Local: Ponta Grossa



SEFE 10

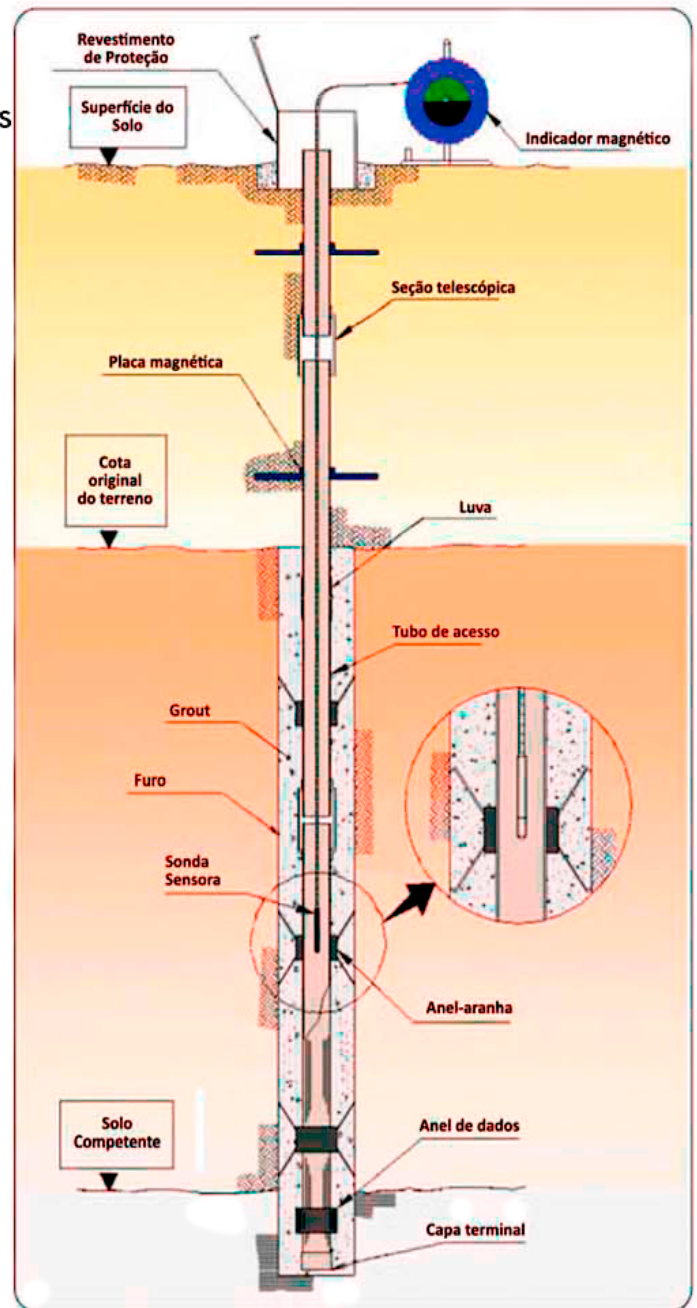
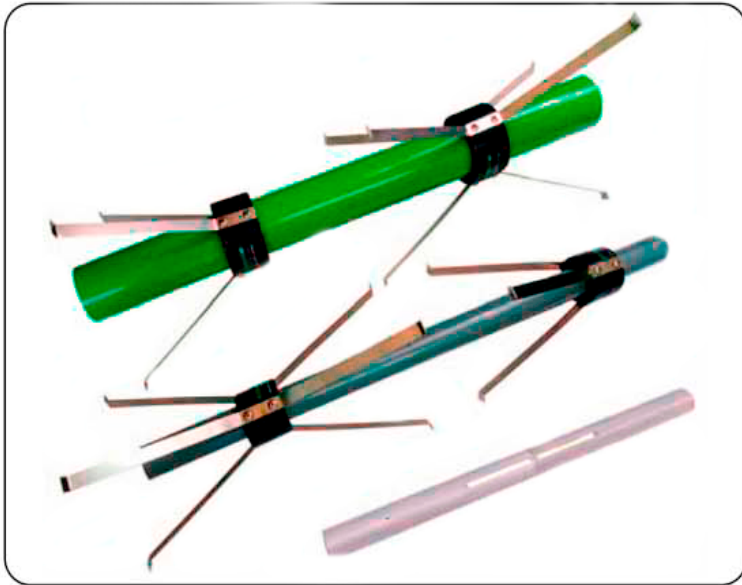
► **Data:** 04/12/2023

Local: Pro Magno Centro de Eventos, São Paulo



Você conhece as Aranhas Magnéticas?

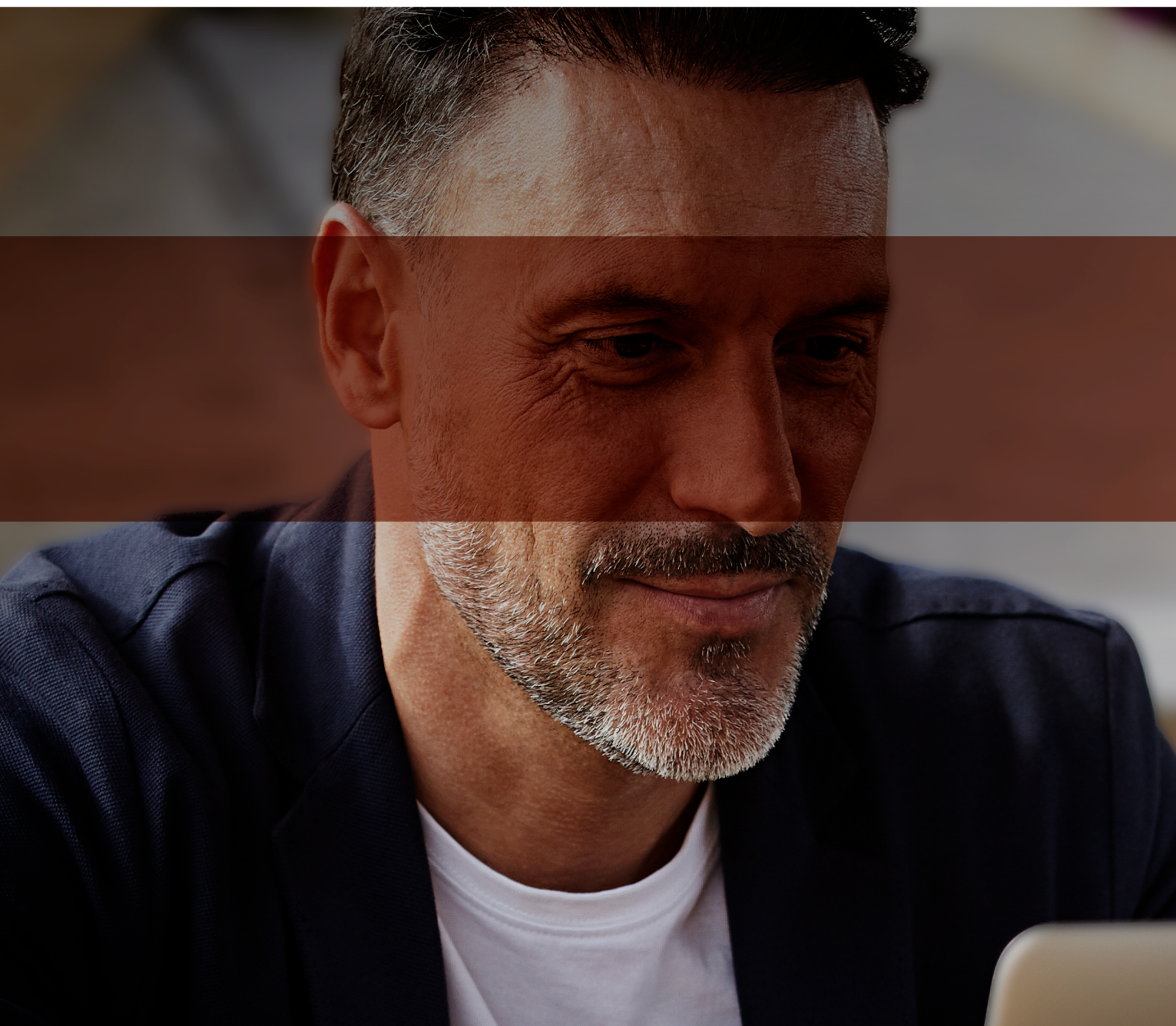
O acompanhamento do recalque em profundidade possibilita, além da definição direta das camadas de fundação, que controlam recalques do aterro, ou de uma construção, quantificar, no campo, os parâmetros do solo, tal como c_v , que controlam sua evolução.



Em profundidade, os deslocamentos verticais são quantificados a partir da instalação de aranhas magnéticas, também conhecido como sensores magnéticos, que possuem forma de um cilindro vazado, instalados em tubos guia de PVC que, por sua vez, são instalados em furos de sondagem previamente executados.

Durante a instalação desses sensores, as hastes são fechadas e amarradas (laço) por um fio de plástico, o que permite fazer o deslocamento do instrumento, pelo espaço entre as paredes do tubo guia e do furo, até a profundidade definida em projeto, quando, o laço é solto e as hastes se abrem, fixam-se no solo mole adjacente. O acompanhamento dos deslocamentos é feito por meio de um torpedo que, no interior do tubo guia, acusa a presença do sensor quando passa na profundidade em que este encontra.





:: NOTÍCIAS EM TEMPO REAL;

:: ANÁLISES EM PROFUNDIDADES;

:: CONSENSO DE OPINIÕES SOBRE SOLUÇÕES;

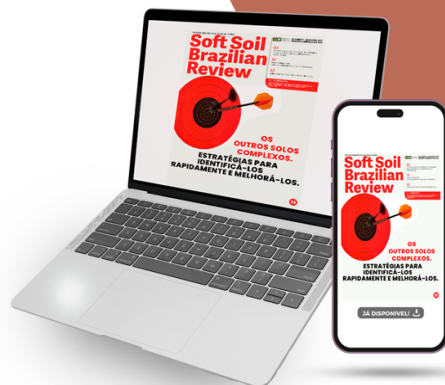
:: GRÁFICOS E FERRAMENTAS ANALÍTICAS

Os principais dados e informações, antes disponíveis apenas por especialistas, agora estão abertos pra você também tomar as melhores decisões na hora de projetar e fazer negócios. Em um só lugar, um serviço completo com a chancela da instituição especialista em melhoramento de Solos moles, com quase 50 anos de experiência.

CHEGOU SUA
VEZ DE TER

VISÃO

MAIS PROFISSIONAL
DA GEOTECNIA
DO SOLO MOLE.



ACESSE [SOFTSOILBRAZILIANGROUP.COM](https://softsoilbraziliangroup.com) E ESCOLHA
A EDIÇÃO IDEAL PARA SUA PESQUISA.



Outros solos complexos

Eng. Thomas Kim.

Solos com Carste. Como Estabilizá-los?



Instabilidade geológica com presença de várias dolinas em via urbana no município de Almirante Tamandaré

O ambiente cárstico é caracterizado pelo predomínio do processo dissolutivo de rochas, erosão mecânica, apresentando rede de drenagem superficial pouco desenvolvida, através de redes de cavidades, além de superfícies de solo irregular e zonas de dissolução que podem, eventualmente, formar zonas de subsidência. Condições litológicas, geológicas, estratigráficas e climáticas pretéritas, com o recobrimento do solo e movimentos tectônicos, representam fatores fundamentais para o desenvolvimento do relevo cárstico, definido como sistema de transferência de massa, associado a uma rocha solúvel, com estrutura permeável que possibilite percolação d'água, formando cavidades dissolvidas na rocha. Mesmo apresentando alta permeabilidade e fraturas, a maior parte do fluxo da água na rocha cárstica é transmitido por cavidades. Dolinas e depressões configuram-se como pontos de convergência de fluxo, pois estabelecem locais de recarga na superfície, importando na evolução conjunta da paisagem superficial e do sistema de condutos subterrâneos. A dissolução da rocha, constitui o principal fator controlador da geomorfologia e hidrologia, de modo que o ambiente cárstico pode ser compreendido, a partir da perspectiva sistêmica, e suas características estão diretamente relacionadas à dinâmica dos subsistemas hidrológico e geoquímico. Uma das características mais importantes, no ambiente cárstico, é a drenagem vertical e subterrânea, associado a porosidade secundária da rocha. Nessa perspectiva, movimentos tectônicos ganham fundamental importância por serem responsáveis pela elaboração de um sistema de porosidade secundária (diaclasses, fraturas e falhas), possibilitando a percolação da água mesmo em rocha maciça. A elaboração de uma paisagem cárstica envolve a correlação das propriedades química da rocha (solubilidade) e de sua porosidade secundária, responsáveis pela criação de cavidades que permitem a percolação da água meteórica e, conseqüentemente, a dissolução. Para a geomorfologia cárstica tradicional, o sistema carste é elaborado em associação à rochas carbonáticas, sobretudo o calcário, uma vez que apresentam maior potencial solúvel. Atualmente, admite-se a formação de feições cársticas elaboradas em rochas não-carbonáticas, como o arenito, por exemplo. Observa-se a tendência de se desvincular o conceito de carste do seu processo formador, não sendo a solubilidade das rochas fator determinante. Parte-se do pressuposto de que a dissolução é fator determinante para sua formação, envolvendo outros aspectos, como os condicionantes estruturais e a pluviosidade agindo em conjunto. Rochas quartzozas representam o grupo de rochas cársticas que apresentam menor suscetibilidade à dissolução. Nesse contexto, a dissolução ocorre combinada com a erosão mecânica, de modo lento, em comparação à rochas carbonáticas.



Figura 1 - Modelo de formação de cavidades por arenização e pipping.

A palavra carste é a versão portuguesa da palavra alemã "karst", originada no planalto de Kras, na região que abrange a Eslovênia e a Itália. A paisagem caracterizada por afloramentos calcários e cavernas foi, inicialmente, analisado por karst Jovan Cvijic, 1893, dando início ao estudo da Carstologia. Carste, portanto, é uma formação caracterizada por camada de solo sobrepondo estrato rochoso, submetido à dissolução química, com uma série de particularidades físicas:

- Ocorre predominantemente em terrenos de rocha calcária, podendo ocorrer também em tipos de rochas carbonáticas e dolomíticas.

– Calcita (CaCO_3). É muito solúvel (Ca).

– Dolomita - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. É menos solúvel.

– Mármore - (metamorfose das anteriores). É pouco solúvel.

• Toda água na superfície do terreno é absorvida rapidamente pelo solo. A presença de chuvas ácidas ou solo ácido incorre em maior velocidade de dissolução da rocha.

• É raro encontrar rios na região, a não ser que o calcário seja impuro.

• Presença de vazios, cavidades e cavernas.

• Formações em pontas de rochas formadas por sua dissolução.

• Cavidades formadas pelo recalque do solo.

A formação do carste obedece a uma série de particularidades, a seguir, detalhadas:

- Permeabilidade entre vazios.

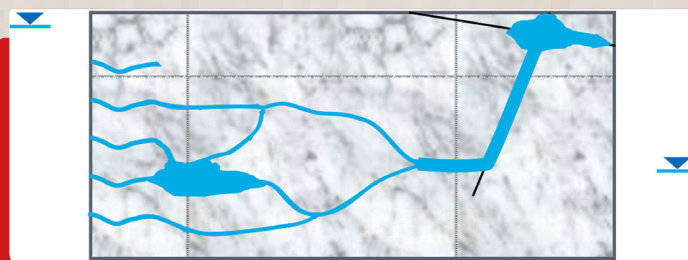


Figura 1 - Permeabilidade entre vazios.

- Maciço "rochoso" sofrendo ação da intempérie.

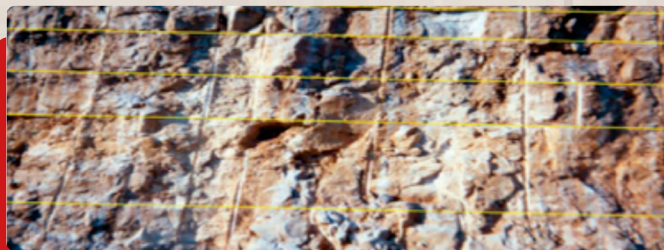


Figura 2 - Maciço "rochoso".

- Maciço "rochoso" caracterizado por planos de fraqueza e alta permeabilidade.

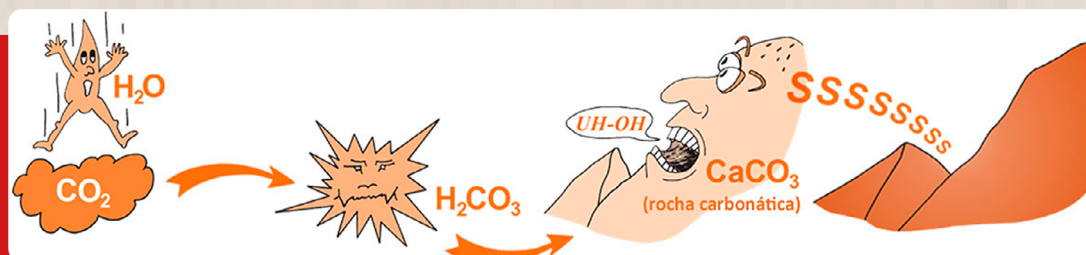


Figura 3 - Maciço "rochoso" e sua dissolução.

- Fraturamento rochoso

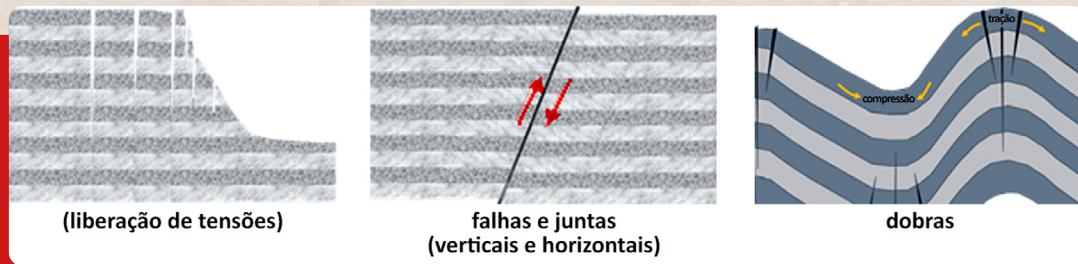


Figura 4 - Estes efeitos, combinados, estabelecem um complexo padrão de fraturas, que formam novas cavidades que, por sua vez, criam novas depressões, etc, aumentando o fluxo d'água.

Com relação às suas características, podem detalhar-se como camadas de rochas inclinadas que, com planos de fraqueza induzem, devido à alta permeabilidade, um relevo em picos, cada vez mais frágeis, ao ponto de romperem e criarem cavidades, cavernas, etc. O solo, acima, perde sua sustentação e cai dentro das cavidades, causando buracos e cedências.



Figura 5 - Presença de cavidades e afundamentos em Cajamar, SP.

Todas estas particularidades características induzem um processo de movimentação do solo, caracterizado por:

- Movimento do solo pela água.

- Gradiente hidráulico move o solo através da rocha.

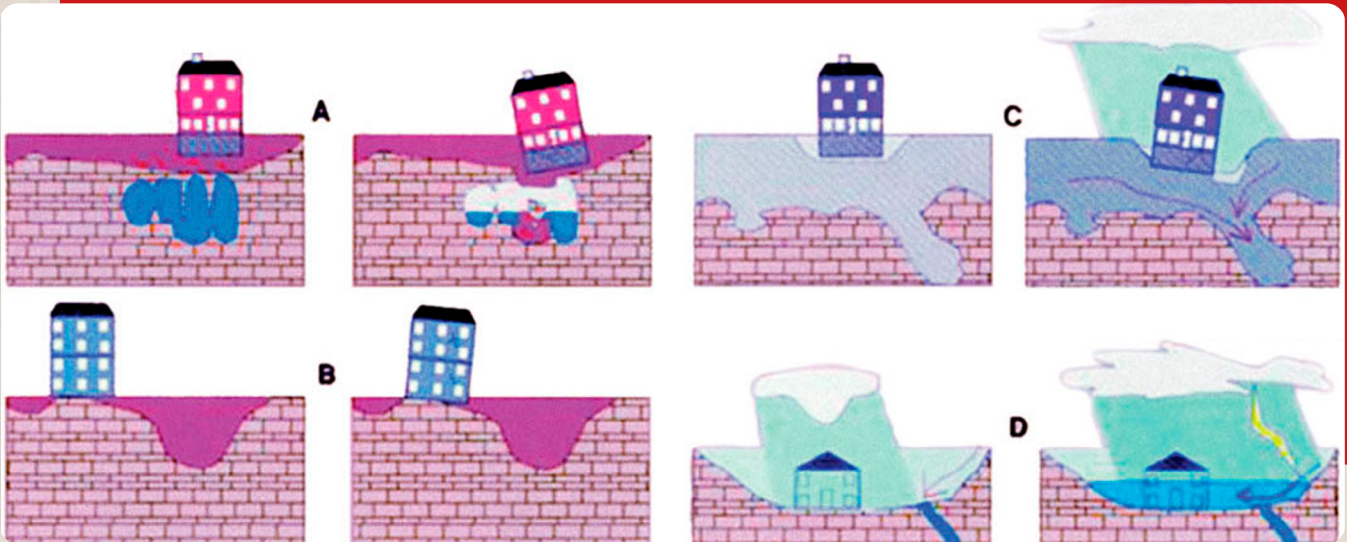
- Solos superficiais são carregados nas aberturas cársticas por infiltração e erosão subsuperficial.

- Vazios em rocha, sob sumidouros, muitas vezes são preenchidos com solo da própria rocha erodida ou material do colapso, a menos que a cavidade tenha sido aberta, por um tempo suficientemente longo, para descarregar o solo para cavidades mais profundas.

- A presença de estacas de fundação, como elementos estranhos neste contexto, pode ser afetada com a movimentação inerente deste solo.

- A própria cravação de estacas de fundação pode desequilibrar o contexto geológico do carste, promovendo movimentações a curto, médio e longo prazos.

Figura 6 - O processo de drenagem e afundamento.



O primeiro passo para o conhecimento de um programa de investigação geotécnica acerca de um solo cárstico é o conhecimento geológico do local, incluindo:

- 1 Tipo de rocha e profundidade
- 2 Respostas das sondagens, com grau de fraturamento, foahas, cavidades e aparência da rocha.
- 3 A existência e a densidade de cavernas, sumidouros que desaparecem.
- 4 A resistência da rocha e o tipo de cobertura.

A informação de engolindo carros, casas, tornam-se evidentes. Por outro lado, costuma haver muita variabilidade com relação aos parâmetros geotécnicos pertinentes as áreas cársticas no nosso país, tornando-se impossível direcionar um tipo de solução. Sondagens com imagens, tipo reflexão, refração e tomografia por ondas, resistividade e condutividade elétrica e radar, são perfeitas para se analisar todo o contexto, tornando-se necessário, pelo menos, dois tipos de sondagens por imagens para se obter uma caracterização eficaz da região. Toda informação obtida, por pessoal da região, também é válida. A água da perfuração perdida, próximo à superfície da Rocha, geralmente indica Cavidades. Frequentemente há camadas de solo mole na superfície do leito rochoso cárstico. Uma vez caracterizado o solo cárstico, poder-se-á estabelecer as seguintes soluções:

- 1 Escavar até o leito rochoso e aterrar, compactando-se até a cota de projeto.
- 2 Promover o melhoramento da região de fundação com geoenriecimento, de modo a eliminar os efeitos da poropressão. A solução garantirá a rigidez necessária às cargas do empreendimento.
- 3 A utilização de estacas é um tanto crítico, considerando-se que torna-se necessário preencher as cavidades laterais com geoenriecimento de modo a impedir futura erosão e conseqüente instabilidade para o estaqueamento.

Há muitas regiões cársticas no Brasil e, infelizmente, nem todas apresentam similaridade.. Empreendedores e projetistas de fundações devem ficar cientes de possíveis perigos que existem em regiões cársticas.

A SOLUÇÃO MAIS USUAL

A solução universal para o problema do carste é o geoenrijecimento, especialmente com o compaction grouting, pois preenche, estrutura, impermeabiliza, preparando o “solo” de fundação para obras de engenharia. Sua execução é feita inicialmente com tomografias por imagem do local, identificando-se as particularidades, estabelecendo-se a estratégia de trabalho.

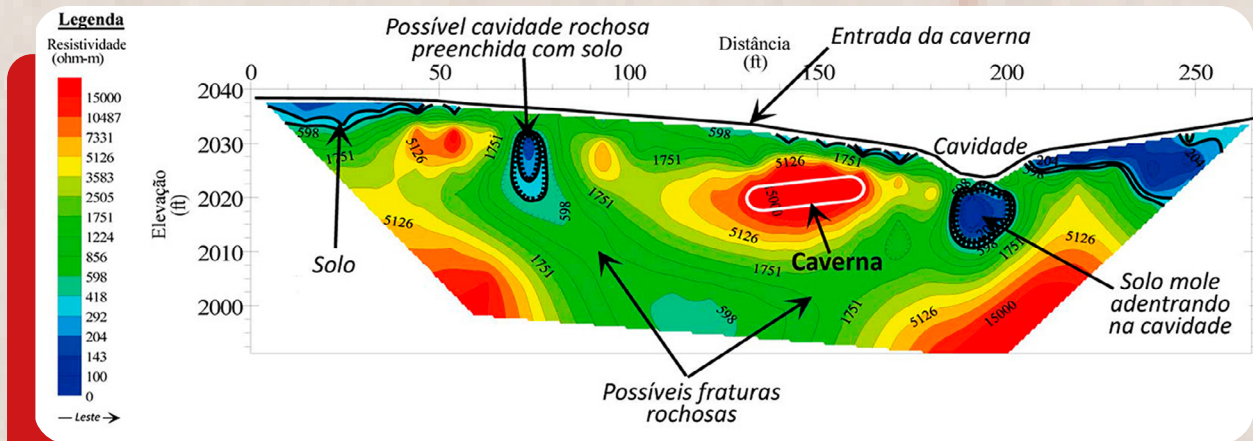


Figura 7 - Presença de cavidades,afundamentos e solo mole em uma tomografia.

O geoenrijecimento com Compaction Grouting oferece uma série de benefícios adequados as particularidades de cada carste, entre elas:

- 1 • Reforça e impermeabiliza as camadas de solo superficiais, impedindo o acesso da chuva à formação cárstica inferior.
- 2 • Além de tratar e reforçar todo o solo acima da formação cárstica, preenche cavidades inerentes, assim como forma um leito estável sobre a formação rochosa existente.
- 3 • A técnica do geoenrijecimento, com Compaction Grouting, estabelece furos secundários e terciários, além de eliminar a possibilidade de ficarem cavidades abertas, possibilitando certificar o grau de reforço desejado para o projeto, utilizando tomografia por imagem. Antes e após os serviços.
- 4 • Permite preencher e solidificar típicas cavidades conhecidas como chaminés ou gargantas, impedindo o desenvolvimento de futuros problemas. Estas cavidades costumam ficar mascaradas com depósitos de areia fofa e argila mole, apenas identificadas com tomografia por imagem.

5

Toda a região do empreendimento fica, após o geoenrijecimento, assentada sobre um bloco rígido, neutralizando qualquer manifestação futura do carste.

6

Para o caso de edificações verticais, com cargas elevadas, sugere-se geoenrijecer o carste para, depois, cravar estacas.

7

Trata-se da melhor solução para o carste, já que se adequa à sua geologia, impondo condições adequadas ao projeto em questão.



Referências

- Thomas Kim é engenheiro geotécnico especializado em melhoramento de solos moles.
- Benson RC, Kaufmann RD, Yuhr L, Martin D. 1998. Assessment, prediction and remediation of karst conditions on I-70, Frederick, MD. In Proceedings of the 49th Highway Geology Symposium, 1998 Sept. 10-14; Prescott, Arizona. p. 313-325.
- Federal Highway Administration. 1995. Dynamic Compaction, Geotechnical Engineering Circular No. 1. FHWA-SA-95-037.
- Martin DA. 2004. Case History of the South Street Sinkhole, Frederick, Maryland. In Proceedings of the 55th Highway Geology Symposium, 2004 Sept. 7-10; Kansas City, Missouri. p. 81-93.
- Panno SV, Luman DE, Kelly WR, Alschuler MB. 2013. The use of drought-induced "crop lines" as a tool for characterization of karst terrain. In: Land L, Doctor, DH, Stephenson, JB, editors, Proceedings of the 13th Multidisciplinary Conference on Sinkholes & the Engineering and Environmental Impacts of Karst; 2013 May 6-10; Carlsbad, New Mexico. Carlsbad (NM): National Cave and Karst Research Institute. p. 53-59.
- Schmertmann JH, Henry JF. 1992. A design theory for compaction grouting. Grouting, Soils Improvement and Geosynthetics, ASCE Geotechnical Publication 30 (1): 215-228.
- Tobin BD, Weary DJ. 2004. Digital Engineering Aspects of Karst Map: A GIS Version of Davies WE, Simpson JH, Ohlmacher GC, Kirk WS, and Newton EG, 1984, Engineering Aspects of Karst: U.S. Geological Survey, National Atlas of the United States of America, Scale 1:7,500,000.
- Weary DJ, Doctor DH, Epstein JB, Orndorff RC. 2008. Characterizing regional karst types under the framework of the new national karst map. US Geological Survey Scientific Investigations Report 2008-5023.

The logo for Soft Soil Brazilian Institute (SSBI) features the letters 'SSBI' in a bold, sans-serif font. The 'SS' is green, and the 'BI' is white, all contained within a dark green rounded rectangular background.

SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE

O SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE ajuda você a entender solos moles

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias sofisticadas. Cada obra é um caso específico que exige solução diferenciada.

softsoilbrazilianinstitute.com.br



PARCEIROS



SOLOTEST

GEOKON

SOLUÇÕES CAD BIM

TRUSTED MEASUREMENTS

ABMS

Leica
Geosystems

RT **TROGERTEC**

ENGEGRAUT
ENGENHARIA ESTRUTURAL

ROCTEST