



Identificação de solos colapsíveis por meio de Ensaio SCPT e SDMT

Breno Padovezi Rocha

Professor, Instituto Federal de São Paulo, Ilha Solteira, Brasil, breno.rocha@ifsp.edu.br

Luis Pedro Rojas Herrera

Mestrando, Universidade Estadual Paulista, Bauru, Brasil, luis.rojas@unesp.br

Roger Augusto Rodrigues

Professor, Universidade Estadual Paulista, Bauru, Brasil, roger.rodrigues@unesp.br

Heraldo Luiz Giacheti

Professor, Universidade Estadual Paulista, Bauru, Brasil, h.giacheti@unesp.br

RESUMO: Solos colapsíveis são solos não saturados com baixa densidade que sofrem recalques bruscos quando inundados sem qualquer aumento do estado de tensões in situ. Estes solos devem ser identificados nas etapas iniciais de investigação do subsolo, evitando assim recalques de fundações, bem como inclinação de paredes e rompimento de tubulações. Ensaio de Cone Sísmico (SCPT) e o Dilatômetro Sísmico (SDMT) vêm sendo empregado pela comunidade geotécnica como uma técnica de perfilagem para a investigação e caracterização do subsolo. Ensaio SCPT, SDMT e de laboratório previamente realizados em solos colapsíveis e não colapsíveis foram reinterpretados para propor uma abordagem qualitativa para identificar solos colapsíveis. A metodologia proposta para a identificação de solos colapsíveis se baseia em um gráfico e limites através da relação entre G_0/M_{DMT} vs K_D para o SDMT, e um gráfico e limites entre G_0/q_c vs q_{c1} para o SCPT. Tais abordagens qualitativas devem ser utilizadas durante a investigação preliminar visando identificar solos potencialmente colapsíveis, ou definir horizontes que necessitam ser investigados em detalhe em laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: Investigação do subsolo, Solos colapsíveis, Módulo de cisalhamento máximo, SCPT, SDMT.

ABSTRACT: Collapsible soils are unsaturated low-density soils that undergo abrupt settlement when flooded without any increase in the in-situ stress level. These soils should be identified in the first stage of the site characterization, thus avoiding foundation settlement as well as wall tilting, and the impairment of water supply and sewage facilities. Seismic Cone (SCPT) and Seismic Dilatometer (SDMT) have been used by geotechnical community for stratigraphic logging to site characterization. SCPT, SDMT, and laboratory tests previously carried out in collapsible and noncollapsible were reinterpreted to purpose a qualitative approach to identify collapsible soils. These approaches were based on a chart and boundaries by G_0/M_{DMT} ratio vs K_D for SDMT, and G_0/q_c ratio vs q_{c1} for SCPT. This qualitative approach should be used in the preliminary investigation phase to select potentially collapsible soils and helps guide the sampling of potentially collapsible soils for laboratory testing.

KEYWORDS: Site investigation, Collapsible soils, Maximum shear modulus, SCPT, SDMT.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





1 INTRODUÇÃO

A investigação do subsolo tem por objetivo definir o perfil estratigráfico (identificar os horizontes, suas espessuras e diferentes tipos de solos), a posição do nível d'água e os parâmetros mecânicos e hidráulicos das camadas de interesse, o que pode ser feito a partir de ensaios de campo ou de laboratório. Os ensaios de campo apresentam como principais vantagens a obtenção de parâmetros do solo no local de projeto, menor custo, rápida execução, bem como a avaliação de grandes volumes de solo. Já os ensaios de laboratório possibilitam o controle das condições de drenagem, a influência da tensão confinante, bem como a velocidade de deformação imposta ao solo.

Os solos colapsíveis são susceptíveis a grandes deformações volumétricas quando há um aumento no teor de umidade. Tais solos são caracterizados por apresentar estrutura metaestável, baixo teor de umidade de campo, elevado índice de vazios, estarem em condição não saturada, além de apresentarem elevada rigidez e resistência no estado seco (LI, VANAPALLI, LI, 2016). Tais materiais são encontrados em várias regiões do mundo e abrangem uma vasta gama de solos (solos tropicais, coluvionares, eólicos, aluviais, aterros compactados, entre outros). No Brasil, os solos colapsíveis cobrem grande parte do território nacional, sobretudo nas regiões Centro-Sul e Nordeste do país.

Os solos colapsíveis são geomateriais não convencionais que devem ser identificados na primeira fase da investigação do subsolo (ROCHA *et al.*, 2021; ROCHA *et al.*, 2023). As deformações volumétricas experimentadas pelos solos colapsíveis induzem recalques diferenciais que afetam residências/edifícios, obras de infraestrutura civis, bem como a ocorrência de deslizamentos de terras (LI *et al.*, 2016; VILAR, RODRIGUES 2011).

A maioria dos métodos disponíveis para identificar solos colapsíveis baseia-se em ensaios de laboratório. Estes métodos podem ser qualitativos ou quantitativos. Os métodos qualitativos utilizam limites de consistência e índices físicos ou uma combinação dos mesmos, enquanto os métodos quantitativos baseiam-se em ensaios edométricos simples ou duplos (JENNINGS, KNIGHT, 1975; GIBBS, BARA, 1967). Para os ensaios de laboratório há necessidade de amostras de alta qualidade, entretanto, o processo de amostragem bem como a preparação das amostras pode induzir perturbações e erros experimentais na determinação dos parâmetros geotécnicos empregados na identificação dos solos colapsíveis. Além disso, torna-se inviável a obtenção de amostras em grandes profundidades.

Uma alternativa interessante seria empregar ensaios de campo, como o Cone Sísmico (SCPT) e o Dilatômetro Sísmico (SDMT) para identificar regiões com solos colapsíveis ou para orientar a definição de pontos para a coleta de amostras para a realização de ensaios de laboratório. Neste contexto, este artigo apresenta duas abordagens qualitativas para identificar solos colapsíveis com base no SCPT e SDMT. Ensaios SCPT e SDMT e de laboratório previamente realizados, respectivamente em 21 e 24 áreas experimentais, com solos colapsíveis e não colapsíveis, foram reinterpretados a fim de propor uma abordagem qualitativa para identificar solos colapsíveis. Para o SCPT, empregou-se a razão entre o módulo de cisalhamento máximo do solo (G_0) e a resistência de ponta do cone (q_c) versus resistência de ponta normalizada (q_{c1}). Para o SDMT, empregou-se a relação entre o índice tensão horizontal (K_D) e a razão entre G_0 e o módulo confinado (M_{DMT}) determinado pelo ensaio SDMT. Além disso, para ambos os casos é apresentado uma equação empírica e limites inferior e superior para definir regiões de solos colapsíveis e não colapsíveis.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Realização:



Avenida Rebouças, 353, Sala 74 A
Cerqueira César, São Paulo/SP, 05401-900
Telefone: (11) 3052-1284
E-mail: abef@abef.org.br

Organização:



Avenida T-9, 2310 - Ed. Inove Intelligent Place
Sala B701, Jardim América, Goiânia/GO, 74255-220
E-mail: secretaria@qeeventos.com.br
Site: www.qeeventos.com.br



2 REVISÃO DA LITERATURA

Geomateriais não convencionais (solos residuais, solos não saturados, solos colapsíveis e rejeitos) apresentam comportamento peculiar devido aos seus processos geológicos relacionados à sua origem (morfogênese e pedogênese). A ligação entre partículas (cimentação) e a estrutura, a natureza coesiva-friccional, a sucção do solo e anisotropia derivada de estruturas relíquias regem o comportamento mecânico destes materiais. Neste sentido, os métodos clássicos de interpretação de ensaios de campo podem não ser adequados e conduzirem a previsões de comportamento irreais, uma vez que foram desenvolvidos a partir de estudos realizados em argilas sedimentares com comportamento drenado e não drenado, bem como em areias jovens reconstituídas com comportamento drenado sem a presença de microestrutura (SCHNAID, YU, 2007; SCHNAID, LEHANE, FAHEY, 2004).

Uma das principais aplicações dos ensaios de campo, como SCPT e o SDMT, é a definição do perfil estratigráfico a partir de ábacos de classificação que empregam as grandezas fundamentais medidas (q_c , f_s , I_D , K_D e E_D), além da estimativa de parâmetros de projeto (ROBERTSON, 2016). Entretanto, tais ábacos de classificação preveem o tipo de comportamento do solo frente a cravação da ponteira cônica (SCPT) ou da lâmina (SDMT) e não a classificação do solo considerando as características físicas (plasticidade e distribuição granulométrica) (ROBERTSON, 2016; MARCHETTI *et al.*, 2001). Neste sentido, como os ensaios SCPT e SDMT possibilitam a determinação de mais de um parâmetro num mesmo ensaio, correlações entre parâmetros independentes (G_0/q_c , G_0/E_D e G_0/M_{DMT}) tem sido formulada para avaliar e identificar a presença de solos não convencionais, como os solos colapsíveis.

Solos colapsíveis são geomateriais porosos com rigidez elevada à pequenas deformações devido à ligação entre partículas (cimentação/envelhecimento) e a sucção do solo, entretanto essa elevada rigidez é destruída devido a médias e elevadas deformações induzidas pela cravação da ponteira cônica (SCPT) e da lâmina (SDMT), o que resulta em elevados valores de módulo de cisalhamento máximo do solo (G_0) e baixos valores de resistência de ponta (q_c) e módulo confinado obtido pelo DMT (M_{DMT}). Deste modo, a razão entre o módulo de cisalhamento máximo do solo (G_0) e um parâmetro tensão-deformação-resistência de campo, como q_c e/ou M_{DMT} , podem ser utilizados para identificar solos colapsíveis.

Outro fator importante que influencia o comportamento mecânico dos solos colapsíveis é a sucção (LI, VANAPALLI, LI, 2016; RODRIGUES, PRADO SOARES, SANCHEZ, 2021). O colapso do solo ocorre quando há diminuição da sucção e ocorre um aumento do estado de tensões acima da pressão de pré-adensamento do solo não saturado (RODRIGUES, PRADO SOARES, SANCHEZ, 2021). As deformações por colapso (ou recalques) dependem da intensidade da carga aplicada, bem como dos valores de sucção antes e após o umedecimento do solo (LI, VANAPALLI, LI, 2016). A sucção nos solos não saturados influencia os parâmetros determinados em campo a pequenas, médias e grandes deformações (NYUNT, LEONG, RAHARDJO 2011; GIACHETI *et al.*, 2019; ROCHA, RODRIGUES, GIACHETI, 2021). Deste modo, considerou-se que a sucção do solo afeta de forma semelhante os parâmetros obtidos nos ensaios de campo bem como nas relações entre a rigidez elástica (G_0) e a rigidez a média (M_{DMT}) a alta (q_c) amplitude de deformação para identificar qualitativamente solos colapsíveis.

3 DESCRIÇÃO DOS LOCAIS E ENSAIOS REALIZADOS

Elaborou-se um banco de dados com locais onde ensaios de dilatômetro plano (DMT), sísmicos (down-hole ou cross-hole) e/ou ensaios de dilatômetro sísmico (SDMT) foram

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





realizados em solos colapsíveis e não colapsíveis. No total, foram coletados dados em 24 áreas experimentais sendo que estas contemplaram solos arenosos, siltes e argilas siltosas. Nesta mesma linha de pensamento, um banco de dados com locais onde ensaios de cone (CPT), sísmicos (down-hole ou cross-hole) e/ou ensaios de cone sísmico (SCPT) foram realizados em solos colapsíveis e não colapsíveis também foi elaborado. Neste caso, encontraram-se 21 áreas experimentais sendo que estas também contemplaram solos arenosos, siltes e argilas siltosas. A Tabela 1 apresenta as principais características de cada local, entre elas o comportamento colapsível e a espessura do horizonte colapsível, bem como o limite de liquidez (LL), peso específico e a classificação dos solos segundo o Sistema unificado de classificação dos solos (SUCS). A partir desses dois bancos de dados foi possível determinar a relação entre G_0/q_c versus resistência de ponta normalizada pelo estado de tensões (q_{c1} – Equação 1) para o ensaio de cone sísmico, e a relação entre G_0/M_{DMT} versus K_D para o ensaio de dilatômetro sísmico (ROCHA *et al.*, 2021, 2023).

$$q_{c1} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \sqrt{\frac{p_a}{\sigma'_v}} \quad (1)$$

onde p_a é a pressão atmosférica e σ'_v é a tensão vertical efetiva.

O comportamento colapsível dos solos investigados foi definido com base em ensaios laboratoriais (ensaios edométrico simples e/ou duplo) e informações da literatura. O potencial de colapso de pelo menos 2% foi utilizado para definir o comportamento colapsível e a espessura do horizonte colapsível (LUTENEGGER, SABER 1988). Para os solos dos locais correspondentes a Unicamp, UnB, UEL, Zemun, Belgrade, Ilha Solteira e Pereira Barreto, o comportamento colapsível foi definido considerando ensaios edométricos simples. Para os locais correspondentes a Unesp, USP e Argentina loess, o comportamento colapsível foi definido considerando ensaios edométricos duplos, e, para os locais correspondentes a Deliblato, Russe e Lácút o comportamento colapsível foi definido considerando informações da literatura. A Tabela 2 apresenta os potenciais de colapso para os solos colapsíveis estudados por meio da Equação 2 para os ensaios edométricos simples seguindo a proposta de JENNINGS e KNIGHT (1975). ROCHA *et al.* (2021, 2023) apresentam e discutem mais informações referentes aos locais investigados.

$$CP = \frac{\Delta_{ec}}{1+e_0} \times 100\% \quad (2)$$

onde CP é o potencial de colapso do solo, Δ_{ec} é a variação do índice de vazios devido a inundação do solo e e_0 é o índice de vazios inicial.

4 IDENTIFICANDO SOLOS COLAPSÍVEIS POR MEIO DESCPT E SDMT

Embora os ensaios SCPT e SDMT tenham um grande potencial para a caracterização de materiais não convencionais, poucos pesquisadores tentaram combinar a rigidez à pequena deformação (G_0) e os parâmetros de resistência de ponta (q_c) e o parâmetro intermediário do DMT (K_D) para identificar solos colapsíveis (BERISAVLJEVIC' *et al.*, 2014; SOARES *et al.*, 2018).

Neste sentido, seguindo as propostas previamente descritas de como identificar geomateriais não convencionais empregando as relações entre a rigidez à pequena deformação (G_0), e os parâmetros de média a grande deformação, tais como N_{SPT} e q_c (SCHNAID, LEHANE,

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



FAHEY, 2004), as razões G_0/M_{DMT} versus K_D e G_0/q_c versus q_{c1} foram utilizadas para procurar identificar solos colapsíveis.

Tabela 1. Áreas experimentais, comportamento colapsível, peso específico (γ_d), limite de plasticidade (LL) e classificação dos solos investigados (adaptado de ROCHA *et al.*, 2021, 2023).

Áreas experimentais	Comportamento colapsível	Espessura do horizonte colapsível	Peso específico (kN/m^3)	LL (%)	SUCS
Unesp 1	Colapsível	9,0	14,90	23	SM
USP 1	Colapsível	8,0	14,10	30	SC
Unicamp 1	Colapsível	10,0	11,20	55	MH
UnB 1	Colapsível	9,0	12,20	42	ML
UEL	Colapsível	12,0	10,60	61	MH
Zemun	Colapsível	8,0	13,40	35	CL
Deliblato	Colapsível	12,0	13,40	30	CL
Russe	Colapsível	7,0	14,00	20	SM
Łancut	Colapsível	8,0	13,60	33	ML
Belgrade 1	Colapsível	10,0	13,40	30	CL
Belgrade 2	Colapsível	10,0	13,40	30	CL
Ilha Solteira	Colapsível	8,0	15,80	20	SC
Pereira Barreto	Colapsível	7,0	16,50	19	SC
Argentina loess	Colapsível	7,0	13,00	25	SM
Unesp 2	Não colapsível	-	17,50	28	SM
USP 2	Não colapsível	-	16,00	29	SC
Unicamp 2	Não colapsível	-	12,00	68	MH
UnB 2	Não colapsível	-	14,20	35	ML
Dufley, MO	Não colapsível	-	- ^a	- ^a	- ^a
Memphis, TN1	Não colapsível	-	- ^a	- ^a	- ^a
Memphis, TN2	Não colapsível	-	- ^a	- ^a	- ^a
UFSC	Não colapsível	-	14,20	43	SM
FEUP	Não colapsível	-	16,80	33	SM
Lublin	Não colapsível	-	16,50	- ^b	SM
Shenton Park	Não colapsível	-	18,70	15	SP
Perth CBD	Não colapsível	-	17,80	18	SP
Ledge Point	Não colapsível	-	17,00	12	SP
Cese di Preturo	Não colapsível	-	15,20	53	CH
Catania	Não colapsível	-	13,50	69	CH
Rome	Não colapsível	-	14,50	44	CL
Texas A&M	Não colapsível	-	18,50	18	SP
Opelika Piedmont	Não colapsível	-	13,80	46	SM
Main Ditch n°8	Não colapsível	-	15,00	40	CL
Dyke Road	Não colapsível	-	12,80	30	CL
Tirana University	Não colapsível	-	14,80	41	CL
Nigata	Não colapsível	-	16,90	13	SP
Kemigawa	Não colapsível	-	17,20	10	SP

^a Informação não disponível

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.





A partir da análise dos valores de G_0/M_{DMT} e K_D , observa-se que a razão G_0/M_{DMT} é maior do que 10 para os solos colapsíveis, já para os valores de K_D , os solos colapsíveis apresentam valores inferiores a 4. Enquanto para os valores de G_0/q_c e q_{c1} observa-se que os valores de G_0/q_c foram maiores do que 23 para os solos colapsíveis, já os valores de q_{c1} foram menores do que 70 para os solos colapsíveis.

Tabela 2. Potenciais de colapso (PC) (adaptado de ROCHA *et al.* 2021, 2023).

Local	Potencial de colapso PC (%)
Unicamp	5,1
UEL	6,3
Belgrade	7,2
UnB	11,2
Ilha Solteira	5,8
Pereira Barreto	5,4
Zenum	7,2

Estes dados foram então plotados em dois ábacos *log-log* adimensionais para definir regiões e fronteiras que separam os solos colapsíveis dos solos não colapsíveis. A Figura 1 apresenta estes dados plotados no espaço G_0/M_{DMT} versus K_D , e a Figura 2 apresenta estes dados plotados no espaço G_0/q_c versus q_{c1} . Estas fronteiras, são regidas pelo Equação 3 para o ensaio SDMT, e Equação 4 para o ensaio SCPT.

$$G_0/M_{DMT} = A \times K_D^{-B} \quad (3)$$

$$G_0/q_c = C \times q_{c1}^{-D} \quad (4)$$

onde A, B, C e D são constantes que diferem dependendo do tipo de solo.

A linha limítrofe entre os solos não colapsíveis e os solos colapsíveis para ambos os ábacos foi determinado empiricamente, considerando os bancos de dados disponíveis. A mesma inclinação foi empregada para os limites inferior dos solos não colapsíveis e o limite superior para os solos colapsíveis, seguindo o trabalho de SCHNAID e YU (2007). As Figuras 1 e 2 demonstram a existência de duas regiões, uma formada pelos solos colapsíveis, e outra formada pelos solos não colapsíveis. Nestas figuras também se observa dispersão dos dados abaixo ou acima dos limites superior e inferior, e que não estão corretamente identificados no que diz respeito à sua colapsibilidade. Tal dispersão pode estar relacionada com compressibilidade do solo, anisotropia, estado de tensão horizontal, bem como algum grau de cimentação e envelhecimento (SCHNAID e YU, 2007). Além disso, G_0 é função da direção de propagação e polarização das ondas de cisalhamento, o que pode ser afetado pela técnica sísmica empregada (down-hole e cross-hole).

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Realização:



Avenida Rebouças, 353, Sala 74 A
Cerqueira César, São Paulo/SP, 05401-900
Telefone: (11) 3052-1284
E-mail: abef@abef.org.br

Organização:



Avenida T-9, 2310 - Ed. Inove Intelligent Place
Sala B701, Jardim América, Goiânia/GO, 74255-220
E-mail: secretaria@qeeventos.com.br
Site: www.qeeventos.com.br

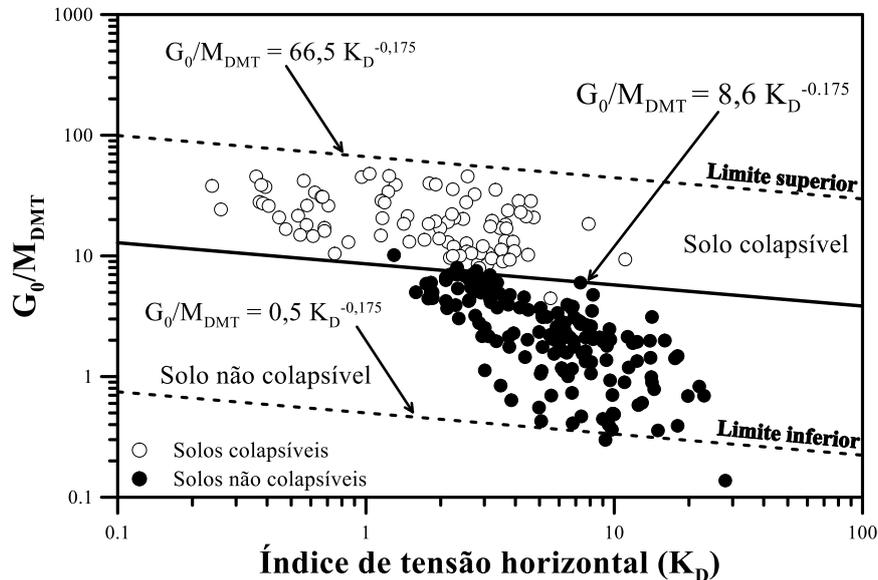


Figura 1. Limites superior e inferior que separam solos colapsíveis de solos não colapsíveis a partir da relação G_0/M_{DMT} versus K_D (adaptado de ROCHA *et al.*, 2021).

5 CONCLUSÕES

Solos colapsíveis são susceptíveis a grandes deformações volumétricas quando há um aumento no teor de umidade. Estes geomateriais devem ser identificados nas etapas iniciais de investigação do subsolo, evitando assim recalques de fundações, bem como inclinação de paredes e rompimento de tubulações. Neste sentido, dois bancos de dados foram elaborados a partir de ensaios de campo e de laboratório para identificar solos colapsíveis. O primeiro contemplou ensaios SDMT, sísmicos e DMT a partir de 24 áreas experimentais, já o segundo contemplou ensaios SCPT, sísmicos e CPT a partir de 21 áreas experimentais. A relação G_0/M_{DMT} e o parâmetro intermediário K_D , bem como a relação G_0/q_c e o parâmetro q_{c1} foram utilizados para identificar solos colapsíveis. Os solos colapsíveis investigados apresentaram a relação G_0/M_{DMT} maior do que 10 e valores de K_D abaixo de 4 para os ensaios SDMT, sísmicos e DMT. Já para os ensaios SCPT, sísmicos e CPT, os solos colapsíveis apresentaram valores da relação G_0/q_c maiores do que 23 e para o parâmetro q_{c1} menores do que 70. Além disso, dois ábacos e fronteiras/limites foram propostos para distinguir solos colapsíveis dos não colapsíveis. Os ensaios SCPT e SDMT vem sendo amplamente empregados na caracterização do subsolo e são técnicas *in-situ* promissoras para identificar solos colapsíveis. A metodologia qualitativa proposta deve ser empregada na fase inicial da investigação do subsolo, especialmente quando há dificuldade em se realizar a amostragem e realização de ensaios de laboratório. Mais resultados de ensaios SDMT, SCPT, sísmicos, CPT e DMT de diferentes locais, particularmente de solos colapsíveis, são necessários para ajustar e/ou confirmar as regiões e as fronteiras/limites propostas. Para mais informações referentes aos solos investigados, bem como as abordagens para a identificação de solos colapsíveis pelos ensaios SDMT e SCPT, consultar, respectivamente, os trabalhos de ROCHA *et al.* (2021) e ROCHA *et al.* (2023).

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



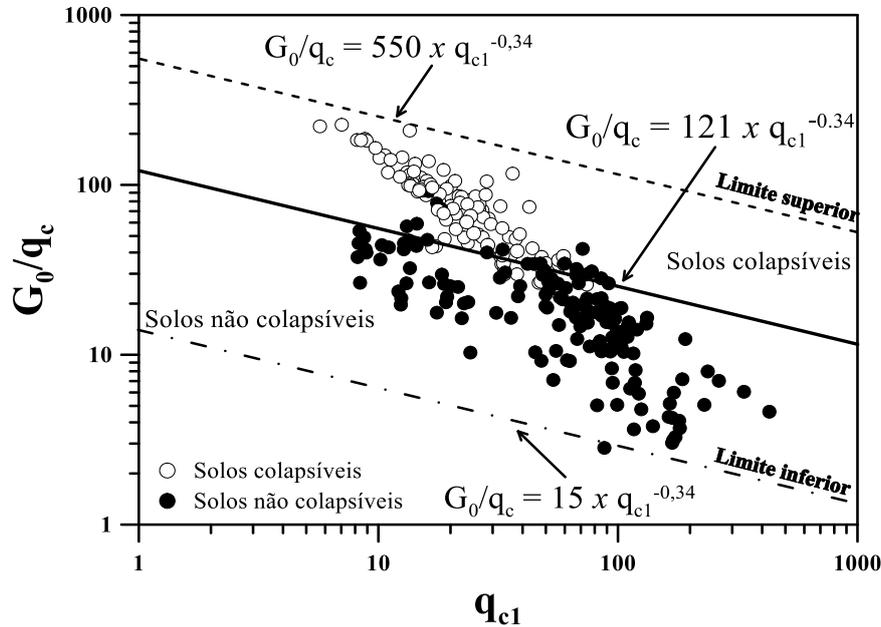


Figura 2. Limites superior e inferior que separam solos colapsíveis de solos não colapsíveis a partir da relação G_0/q_c versus q_{c1} (adaptado de ROCHA *et al.*, 2023).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Procs. nº 2015/16270-0 e 2017/23174-5) e ao CNPq (Procs. nº. 308895/2015-D e 436478/2018-8) pelo apoio ao desenvolvimento dessa pesquisa. Agradecem também a bolsa de estudos concedida ao primeiro autor pela CAPES durante o seu pós-doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berisavljevic, D., Berisavljevic Z., Cebasek V., Susic, N. (2014) Characterization of collapsing loess by seismic dilatometer. *Engineering Geology*, 181, p.180–189. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.07.011>
- Giacheti, H.L., Bezerra, R.C., Rocha, B.P., Rodrigues, R.A. (2019) Seasonal Influence on Cone Penetration Test: An Unsaturated Soil Site Example. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11 (2), p.361–368. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.10.005>
- Gibbs, H.J., Bara, J.P. (1967) Stability problems of collapsing soil. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 93 (4), p. 577–594. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001007>
- Jennings, J.E., Knight, K. (1975) A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to “collapse” of grain structure. In: 6TH REGIONAL CONFERENCE FOR AFRICA ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 6, *Proceedings...*, v. 1, 6 p.
- Li, P., Vanapalli, S., Li, T. (2016) Review of collapse triggering mechanism of collapsible soils due to wetting. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8 (2), p.256–274. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.12.002>

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



- Lutenegger, A.J., Saber, R.T. (1988) Determination of Collapse Potential of Soils. *Geotechnical Testing Journal*, 11 (3), p.173–178.
- Marchetti S, Monaco P, Totani G, Calabrese M (2001) The flat dilatometer (DMT) in soil investigations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IN-SITU MEASUREMENT OF SOIL PROPERTIES AND CASE HISTORIES, Bali, Indonesia. *Proceedings...v. 1*, 37 p.
- Monaco, P., Marchetti, S. (2007) Evaluating liquefaction potential by seismic dilatometer (SDMT) accounting for aging/stress history. In: 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON EARTHQUAKE GEOTECHNICAL ENGINEERING, 4, Thessaloniki. *Proceedings... paper No. 1626*. 12 p.
- Nyunt, T.T., Leong, E.C., Rahardjo, H. (2011) Strength and small-strain stiffness characteristics of unsaturated sand. *Geotechnical Testing Journal*, 34 (5), p. 551-561. <https://doi.org/10.1520/GTJ103589>
- Robertson, P.K. (2016) Cone Penetration Test (CPT)-Based Soil Behaviour Type (SBT) Classification System - An Update. *Canadian Geotechnical Journal*, 53 (12), p.1910–1927. <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0044>
- Rocha, B.P., Carvalho Rodrigues, A.L., Rodrigues, R.A., Giacheti, H.L. (2021) Using a Seismic Dilatometer to Identify Collapsible Soils. *International Journal of Civil Engineering*, 20 (7), p.857–867. <https://doi.org/10.1007/s40999-021-00687-9>
- Rocha, B.P.; Rodrigues, R.A.; Giacheti, H.L. (2021) The Flat Dilatometer Test in an Unsaturated Tropical Soil Site. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39 (8), p. 5957–5969. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01849-1>
- Rocha, B.P., Silveira, I.A., Rodrigues, R.A., Lodi, P.C., Giacheti, H.L. (2023) Identifying Collapsible Soils from Seismic Cone (SCPT): A Qualitative Approach. *Buildings*, 13 (830), p.857–867. <https://doi.org/10.3390/buildings13030830>
- Rodrigues, R.A., Prado Soares, F.V., Sanchez, M. (2021) Settlement of Footings on Compacted and Natural Collapsible Soils upon Loading and Soaking. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 147 (4), p. 04021010. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002479](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002479)
- Schnaid, F., Yu, H.S. (2007) Interpretation of the seismic cone test in granular soils. *Geotechnique*, 57 (3), p.265–272. <https://doi.org/10.1680/geot.2007.57.3.265>
- Schnaid, F., Lehane, B.M., Fahey, M. (2004) In situ test characterization of unusual soils. Keynote lecture. In: 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE CHARACTERIZATION, 2, Porto. *Proceedings...v. 1*, 25 p.
- Soares, C.S.M., Danziger, F.A.B., Jannuzzi, G.M.F, Martins, I.S.M., Andrade, M.E.S. (2018) CPT in a tropical collapsible soil. In: 4th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONE PENETRATION TESTING (CPT'18), 4, Delft. *Proceedings...v. 1*, 6 p.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

