

Ensaio Free Swell Index Para Avaliação De Expansão De Solo

Thanyle Maria Silva de Siqueira

Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, mariathanyle@gmail.com

Alisson do Nascimento Lima

Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, alissonnascimentolim@gmail.com

Carina Silvani

Professora na Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, carinasilvani@gmail.com

Pedro Raimundo Santana Junior

Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, pedro.raimundo@estudante.ufcg.edu.br

RESUMO: Solos expansivos podem causar grandes problemas na construção civil devido às variações volumétricas com a alteração da umidade. Sua identificação é dificultada pois os ensaios de campo, como o Standart Penetration Test (SPT), não detectam solos expansivos. Logo, análises laboratoriais são geralmente necessárias, mas podem ser inviáveis pela falta de instalações próximas. Uma abordagem emergente para superar esse desafio é o método indiano Free Swell Index (FSI), reconhecido mundialmente. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a adequabilidade do FSI para medir expansão de solos brasileiros. Foram investigados os solos A, B e C, provenientes das regiões de Paulista-PE e Agrestina-PE e os resultados foram comparados com ensaios de expansão uni-dimensional para as mesmas amostras realizados em pesquisa prévias. O solo B, uma mistura de areia e bentonita, foi analisado com diferentes teores de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA). Os resultados revelaram que os solos A e C exibiram baixa expansão (FSI de 30% e 27,77%, respectivamente), enquanto o solo B mostrou uma expansão significativa (FSI de 240%). A introdução de CBCA no solo B reduziu seu potencial de expansão, exceto na amostra com 12,5% de CBCA. Porém, o ensaio FSI apresentou imprecisões se comparado com resultados de expansão unidimensional, especialmente para o solo B, sendo necessário explorar mais amostras e métodos alternativos, como o modified free swell index (MSFI), para uma avaliação mais confiável da expansão do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio Indiano, Free Swell Index (FSI), Expansão Unidirecional.

ABSTRACT: Expansive soils can cause significant problems in civil construction due to volumetric variations with changes in moisture content. Their identification is challenging because field tests, such as the Standard Penetration Test (SPT), do not detect expansive soils. Therefore, laboratory analyses are often necessary, but they can be impractical due to the lack of nearby facilities. An emerging approach to overcome this challenge is the Indian Free Swell Index (FSI) method, recognized worldwide. Thus, this study aimed to evaluate the suitability of the FSI for measuring the expansion of Brazilian soils. Soils A, B, and C, from the regions of Paulista-PE and Agrestina-PE, were investigated, and the results were compared with one-dimensional swelling tests for the same samples conducted in previous research. Soil B, a mixture of sand and bentonite, was analyzed with different contents of sugarcane bagasse ash (CBCA). The results revealed that soils A and C exhibited low expansion (FSI of 30% and 27.77%, respectively), while soil B showed significant expansion (FSI of 240%). The introduction of CBCA into soil B reduced its expansion potential, except in the sample with 12.5% CBCA. However, the FSI test showed inaccuracies when compared to one-dimensional expansion results, especially for soil B, making it necessary to explore more samples and alternative methods, such as the Modified Free Swell Index (MSFI), for a more reliable evaluation of soil expansion.

KEYWORDS: Indian test, Free swell index (FSI), One-dimensional Expansion

1 INTRODUÇÃO

Solos expansivos são solos argilosos que tem seu comportamento relacionado à instabilidade volumétrica ao sofrer variação de umidade ou sucção. O comportamento desses solos caracteriza-se pelo acréscimo de volume (expansão) quando há aumento na umidade e redução de volume (contração) ao perderem umidade. Com a presença de solos expansivos na construção civil, estruturas levemente carregadas como fundações de pequenas edificações, pavimentos e leitos de canais construídos nesses solos podem causar severos problemas estruturais (Morais, 2017; Chen 1998).

Solos expansivos estão presentes em vários países no mundo, como Cuba, México, Marrocos, Turquia, Estados Unidos, Argentina, China, África do Sul, Austrália, dentre outros. No Brasil, os solos expansivos são encontrados em várias regiões: no centro-sul, nos estados do Paraná, São Paulo e Santa Catarina; no Nordeste, no norte da Bahia passando por Pernambuco até atingir o Ceará. (Ferreira *et al.*, 2015).

A identificação do solo expansivo é uma etapa importante no sucesso de um projeto de engenharia. A identificação visual desses solos no campo e laboratório não é fácil, pois se trata de simplificação de um processo complexo e deve-se ter cautela ao estimar a reatividade do solo em função de parâmetros convencionais do solo (Devkota *et al.*, 2022). Ensaios de campo e índices tradicionais usados para caracterizar solos, como Standard Penetration Test (SPT), granulometria e índice de consistência, podem não identificar solos potencialmente expansivos. Para identificar a expansão do solo de uma maneira direta é preciso fazer ensaios de expansão realizado em laboratório (Ferreira, 1995).

A aplicação desses ensaios, na maioria das vezes tem um custo alto associado ao dispêndio de tempo e disponibilidade de laboratórios. De maneira a reduzir o custo e diminuir esse problema, um dos métodos que podem ser utilizados na identificação dos solos expansivos, é o método indiano, que é mundialmente conhecido *Free Swell Index* (FSI) e segue especificações da IS (*Indian Standard*): 2720 Part XL (1977). O FSI abrange um teste simples para a identificar o potencial de expansão de um solo, para que se identificado possa-se proceder uma investigação mais detalhada sobre a expansão e as tensões de expansão sob diferentes condições de campo.

Deste modo, o processo de validação da capacidade de identificação de solos expansivos por ensaios práticos como o FSI é de alta relevância, especialmente no Brasil, onde possui diversas áreas de solos potencialmente expansivos. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou avaliar o uso do FSI na identificação do potencial expansivo através de sua comparação com resultados de ensaio de expansão unidimensional.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram os solos expansivos A, B e C estudados por Tenório (2018), Silva (2022) e Medeiros (2023), respectivamente, que realizaram o ensaio de expansão em uma dimensão normalizada pela ASTM D4546 (Método A). O solo A é um solo expansivo oriundo da região rural do município de Paulista-PE, o solo B é obtido pela mistura de areia e bentonita 75/25 com substituição de diferentes teores de cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), variando entre 6,25%, 12,5%, 18,5% e 25%. Já o solo C é um solo expansivo oriundo da cidade de Agrestina-PE.

A Tabela 1 apresenta o peso específico seco e a expansão dos solos A, B e C segundo a ASTM D4546 (Método A).

Tabela 1. Caracterização dos Solos.

Solo	CP	γ_d (kN/m ³)	Expansão	Fonte
A	SPA01	14	4,61%	Tenório (2018)
	SPA02	14	4,97%	
	SPA03	14	5,16%	
	SPA04	15	6,22%	
	SPA05	15	6,42%	
	SPA06	15	7,04%	
	SPA07	16	7,59%	
	SPA08	16	7,82%	
	SPA09	16	8,14%	
B	100% solo B + 0,0% de CBCA	16,75	16,12%	Silva (2022)
	93,75% solo B + 6,25% de CBCA	16,75	5,93%	
	87,5% solo B + 12,5% de CBCA	16,75	0,4%	
	81,5% solo B + 18,5% de CBCA	16,75	0,11%	
	75% solo B + 25% de CBCA	16,75	0,1%	
C	SPC01	18,35	1,21%	Medeiros (2023)

2.2 Métodos

A determinação do FSI seguiu a normativa indiana IS 2720-41 (1977): Métodos de teste para solos. Para o ensaio FSI, foram necessárias duas amostras de 10 g de solo seco em estufa e passante na peneira de malha 0,420 mm. Logo, após o solo ser colocado em duas provetas de 100 mL, uma amostra para cada proveta, foi realizado o preenchimento com água e querosene, respectivamente para cada proveta. Os resultados foram obtidos depois de transcorridos 24 horas de ensaio, em que as amostras inundadas permaneceram em repouso. Assim, foram feitas as leituras do volume final de solo em cada proveta (para valores abaixo de 10 mL, a medição foi feita com o auxílio de uma régua graduada).

O querosene sendo um líquido apolar não causa expansão do solo, logo o nível de variação volumétrica do solo na proveta com água destilada deve ser lido como o nível de expansão livre. O índice de expansão livre (FSI) do solo foi calculado de acordo com a Equação (1):

$$FSI = \frac{(V_d - V_k)}{V_k} * 100 \quad (1)$$

onde:

V_d = o volume da amostra de solo lida no medidor graduado cilindro contendo água destilada, e

V_k = o volume da amostra de solo lida no graduado cilindro contendo querosene.

Posteriormente, se procedeu a comparação com os resultados obtidos a partir de ensaios pelo método ASTM D4546 (2021) Método A.

3 RESULTADOS

O FSI calculado para o solo A, pela Equação 1, foi de 30%. Esse resultado foi obtido a partir das leituras realizadas pelo ensaio da Figura 1. Para a proveta contendo querosene, essa leitura foi de 10 mL e para a proveta contendo água, a leitura foi de 13 mL.

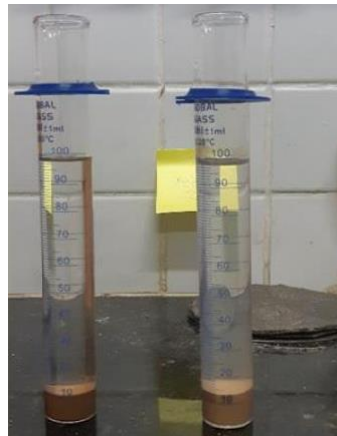


Figura 1. FSI para o solo A.

Para o solo B, sem adição de CBCA, foi obtido um FSI de 240%, onde as leituras das provetas apresentadas na Figura 2 foram de 10 mL e 34 mL para o solo em querosene e água, respectivamente.



Figura 2. FSI para solo B sem adição de CBCA (a) proveta com solo e querosene (b) proveta com solo em água.

A Figura 3 apresenta o solo B com 6,25% de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA). As leituras realizadas para solo com água e com querosene foram de 36 mL e 10 mL, respectivamente. O FSI para essa mistura foi de 260%.

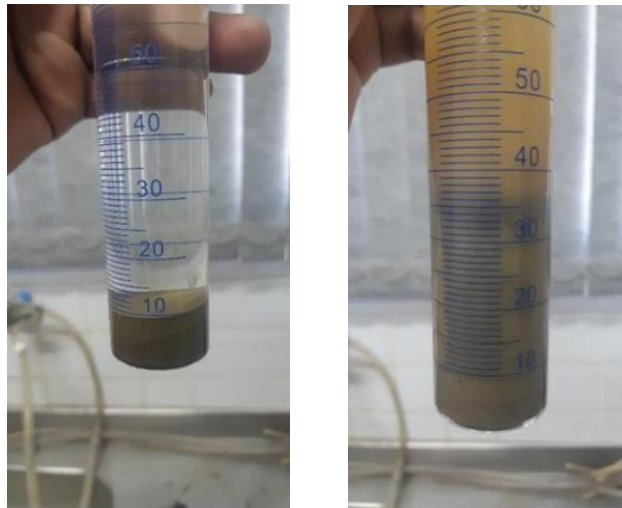


Figura 3. FSI para solo B com substituição de 6,25% CBCA (a) proveta com solo e querosene (b) proveta com solo em água.

A Figura 4 apresenta o solo B com substituição de 12,5% de cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA). A proveta com solo e querosene apresentou leitura de 10 mL e a proveta contendo solo e água apresentou leitura de 52 mL. O resultado do FSI foi 420%.



Figura 4. FSI para solo B com substituição de 12,5% CBCA (a) proveta com solo e querosene (b) proveta com solo em água.

O FSI para o solo B (Figura 5), contendo 18,5% de CBCA foi de 204,35%. As leituras para solo com querosene e água foram de 11,5 mL e 35 mL, respectivamente.

A Figura 6 apresenta o ensaio para o solo B contendo 25% de CBCA. Para a proveta contendo água foi obtida uma leitura de 37 mL e a leitura para a proveta contendo querosene foi de 12 mL. Dessa forma, o FSI calculado foi de 208,33%.

A Tabela 2 apresenta os valores de FSI para os solos A, B e C estudados, além de apresentar os valores de expansão pelo método ASTM 4546 (Método A). Obteve-se um único FSI para cada solo pois não há compactação nesse ensaio.

O solo A pelo ensaio FSI é classificado, de acordo com a Tabela 3, como um solo com índice de expansão baixa por ter 30%. Entretanto, de acordo com Constantino (2018), um solo é considerado expansivo quando apresenta variação de volume superior a 1% nos ensaios regidos pela ASTM D4546 (Método A), e dentre os resultados apresentados na Tabela 1 para este solo a menor expansão observada foi de 4,61%. Desta forma, para esta amostra houve divergência quanto à categorização do material como expansivo, entre os métodos.



Figura 5. FSI para solo B com substituição de 18,5% CBCA (a) proveta com solo e querosene (b) proveta com solo e água.

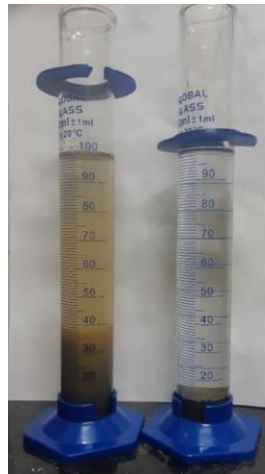


Figura 6. FSI do solo B com substituição de 25% de CBCA.

A Figura 7 apresenta o ensaio FSI para o solo C. A proveta contendo querosene apresentou leitura de 9 mL e a proveta contendo água apresentou leitura de 11,5 mL. O FSI calculado foi de 27,77%.



Figura 7. FSI do solo C.

Tabela 2. Resultados dos ensaios FSI e os valores de expansão pelo método ASTM 4546 (Método A).

Solo	Expansão ASTM 4546 (Método A)	FSI
Solo A	4,61% (mínimo)	30%
100% solo B + 0,0% de CBCA	16,12%	240%
93,75% solo B + 6,25% CBCA	5,93%	260%
87,5% solo B + 12,5% de CBCA	0,4%	420%
81,5% solo B + 18,5% de CBCA	0,11%	204,35%
75% solo B + 25% de CBCA	0,1%	208,33%
Solo C	1,21%	27,77%

Tabela 3. Classificação do potencial de expansão pelo FSI

FSI	Potencial expansivo
< 50	Baixo
50 - 100	Médio
100 - 200	Elevado
>200	Muito elevado

Fonte: Indian Standard 1498 (1970)

Os resultados referentes ao solo B, apresentados na Tabela 2 indicam o potencial de expansão considerado como muito elevado, conforme a Tabela 3. Ainda entre as amostras com distintos teores de CBCA é possível observar uma diminuição da potencial expansão, exceto pela amostra com 12,5% de CBCA. Os resultados que se adequam parcialmente com os resultados encontrados por Silva (2022) se referem apenas às duas primeiras amostras (com 0 e 6,25 % de CBCA, respectivamente) como solo expansivo. No entanto, os resultados deste estudo se assemelham, em parte, com os de Rajakumar e Meenambal (2015) que também ao avaliarem misturas de solo expansivo como CBCA. Estes autores observaram a redução do FSI com o aumento de CBCA na mistura, e assim como neste estudo os resultados apresentaram uma não-linearidade dos resultados, com variações positivas e negativas dado o aumento do teor de cinza.

Esse comportamento pode ser associado a dificuldade nas leituras de variação de volume nas provetas que continham água que pode ser vista nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 6. Isso pode estar associado à composição do solo, ao ser colocado na água, cada componente do solo, a saber bentonita, cinza e areia, ficaram separados dificultando a leitura. E a turbidez visualizada pode ser referir a dispersão da bentonita em forma coloidal, impossibilitando uma adequada correlação com o FSI.

No que se refere ao solo C, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, este apresentou um potencial de expansão baixo de acordo com o FSI (Tabela 3) e de acordo com o ensaio de expansão unidimensional regido pela ASTM D4546 este apresenta expansão da ordem de 1,21%, que poderia ser considerado como um solo de baixo potencial expansivo. Para esta amostra, os resultados apresentaram maior convergência, ao que se pode atribuir as características do solo.

Assim, como aponta Forouzan (2016) em alguns casos, para solos ricos em caulinita, este método resulta em índices FSI baixos ou até negativos; subsequentemente, esta técnica pode subestimar o potencial de expansão do solo montmorilonítico se estes incluírem uma grande quantidade de material argiloso de caulinita. Desta forma os resultados deste estudos podem ter sofrido consideráveis efeitos da variação da mineralogia das amostras, sendo assim seriam necessário outros ensaios ou uso de metodologias mais adequadas com o modified free swell index (MFSI) proposto por Sridharana (1985).

4 CONCLUSÃO

A partir das amostras analisadas foi possível verificar que os solos A e C apresentaram baixa expansão, com um FSI de 30% e 27,77%, respectivamente, enquanto o solo B apresentou uma expansão significativamente alta, com FSI de 240%. A introdução de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) como substituto parcial do solo B mostrou uma tendência de redução no seu potencial de expansão, exceto na amostra com 12,5% de CBCA.

Os resultados do ensaio FSI mostraram-se imprecisos, especialmente para o solo B, onde houve a suspensão de parte do material. As comparações com os resultados dos métodos da ASTM 4546 revelaram discrepâncias, evidenciando as limitações do ensaio FSI. Diante disso, torna-se necessário avaliar ensaios alternativos e que podem ser métodos mais adequados, como modified free swell index (MFSI), para uma avaliação mais confiável do potencial de expansão do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM International (2021). *ASTM D4546*. Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils.
- Constantino, C. S. (2018). *Estabilização de um solo expansivo do município de Paulista com uso de cinza de casca de arroz*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- Devkota, B.; Karim, M.R.; Rahman, M. M.; Nguyen, H.B.K. (2022). Accounting for Expansive Soil Movement in Geotechnical Design—A State-of-the-Art Review. *Sustainability*, v. 14 n. 23: 15662.
- Chen, F. H. (1998) *Foundation on Expansive Soils*, New York: Elsevier, 463 p.
- Ferreira, S. R. M. (2015). Propriedades geotécnicas de um solo expansivo tratado com cal. *Revista Matéria*. UFRJ, Rio de Janeiro pp. 437 a 449.
- Ferreira, S. R. de M. (1995). *Colapso e Expansão em Solos Naturais não Saturados Devido à Inundação*. Tese de Doutorado. COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Forouzan, A. M.. (2016). *Prediction of Swelling Behavior of Expansive Soils Using Modified Free Swell Index, Methylene Blue And Swell Oedometer Tests*. Thesis. Master of Science in Civil Engineering. Middle East Technical University.
- IS 1498 (1970). *Classification and Identification of Soils for General Engineering Purposes* [CED 43: Soil and Foundation Engineering] in India.
- IS 2720-41 (1997). *Testing Methods for Soils, Part 41: Measuring Soil Expansion Pressure* [CED 43: Soil and Foundation Engineering] in India.
- Medeiros, L. D. (2023) *Melhoramento do comportamento mecânico de um solo estabilizado com cinza de lenha de algaroba*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- Morais, J. J. O. (2017) *Caracterização geotécnica da expansividade de um solo argiloso do município de Paulista - PE*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- Rajakumar C. Meenambal T. (2015). Experimental Study of Bagasse Ash Utilisation for Road Application on Expansive Soil. *Nature Environment and Pollution Technology*. v. 14 n. 4 p. 903-90.
- Silva, J. C. (2022) *Estabilização de solos expansivos com cinza do bagaço de cana-de-açúcar*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande.
- Sridharan., Raos. M., Murthyn. S. (1986) A rapid method to identify clay type in soils by the free-swell technique. *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, v. 9, n. 4, p. 193-203.
- Indian Standard, I. S. 2720 (Part XL)-1977: *Methods of test for soils: Part 40 Determination of free swell index of soils*. India, BIS, 2002.
- Tenório, E. A. G. (2018) *Controle da expansão dos solos com resíduos de mármore e cal*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande.