



## **ANÁLISE DA EXPANSIBILIDADE DE UM SOLO ARGILOSO – ESTUDO DE CASO**

<sup>1</sup> Anastácia Joana Silveira de Jesus (ÁREA 1) – [anastaciajoana@gmail.com](mailto:anastaciajoana@gmail.com); <sup>2</sup> Silas de Andrade Pinto (ÁREA 1/CIMATEC) – [silas.andrade14@gmail.com](mailto:silas.andrade14@gmail.com).

### **Resumo:**

Uma construção na cidade de Tucano – BA, desenvolveu patologias associadas a fundação que se encontram em um solo expansivo. Este trabalho teve como objetivo analisar a causa das trincas encontradas no contrapiso da edificação, através de ensaios de laboratório, métodos indiretos (baseados nos limites de Atterberg), dentre outros ensaios utilizados para complementar os resultados. Por meio dos ensaios, foi possível identificar que o argilomineral presente ocasionou a pressão de expansão do solo, devido ao seu alto potencial de expansividade. Os valores de pressão de expansão foram em média 190 kPa, valores considerados extremamente altos, para residências de pequeno porte, causando assim rachaduras nas edificações.

**Palavras-Chaves:** Expansão de solos. Patologias em edificações. Trincas ativas.

## **ANALYZE OF THE EXPANSIBILITY OF ARGILOUS SOIL - CASE STUDY**

### **Abstract:**

Pathology in a building in the city of Tucano - BA, generated problems in the construction due to the foundation found in an expansive soil. This work aims to analyze the cause of cracks found in the subfloor of the building, through laboratory tests, indirect methods (based on the limits of Atterber), among other tests used to complement the results. Through the tests, it was possible to identify that the mineral clay present caused the pressure of soil expansion due to its high potential of expansivity. Expansion pressure values averaged 190 kPa, values considered extremely high, for small residences, thus causing cracks in buildings.

**Keywords:** Expansion of soil. Conditions in buildings. Active crack.



## 1. INTRODUÇÃO

Sivapullaiah e Siridharan [1] afirmam que o comportamento do sistema solo-água é primeiramente controlado pelo tipo de argilomineral, seguido pela natureza do fluido no poro, cátions e ânions associados e matéria-orgânica. Um solo para ser caracterizado como expansivo depende do tipo de argila que o compõe, já que nem todos os argilominerais sofrem modificações volumétricas, com variação da umidade. Os minerais argilosos pertencentes ao grupo das montmorilonitas, mais especificamente as esmectitas [2] e vermiculitas, possuem uma área superficial grande, assim as partículas de argilominerais tendem a ter uma capacidade elétrica elevada que provoca a atração de moléculas de água e cátions hidratados. Essa atração de moléculas de água aumentam a atividade dos solos finos, fazendo com que entrem na fase líquida quando umedecidos, e passem para fase plástica quando desidratados.

Segundo Cavalcante [3], é fácil identificar a presença de um solo expansivo através dos danos causados nas edificações, tais como aparecimento de fissuras e trincas, ou até mesmo ruínas no período de estiagem, e leves desaprumos e levantamentos em períodos chuvosos. Outra resultante da expansão, é a entrada de água pelas interfaces mineralógicas, ou a liberação de sucção a que o solo estava submetido. Conforme visto em Presa [4], “um solo expansivo, seja ele no estado natural, ou compactado, é aquele que a variação volumétrica é muito elevada, de forma a produzir efeitos prejudiciais nas obras construídas sobre os mesmos, ou nas proximidades”.

O surgimento de fissuras nos elementos estruturais se caracteriza por uma pequena abertura na superfície oriunda da ruptura sutil da massa do sólido, com superfície que não ultrapassa 0,5 mm. As trincas podem ser observadas com maior facilidade, pois sua abertura é mais espaçada, variando entre 0,5mm até 1,00 mm e nota-se facilmente que o material sólido de sua massa se rompeu. Já as fendas são aberturas significativas, pois sua espessura varia entre 1,00 mm até 1,5 mm, proveniente da acentuada ruptura de sua massa e de fácil visualização através dela, possibilitada pela espessura de sua abertura. E as rachaduras são aberturas encontradas nos materiais sólidos, com espessura entre 1,5 a 5mm.

Quando o solo é identificado como expansivo antes da construção da edificação, recomenda-se o uso de fundações profundas/indiretas capazes de avançar até uma camada de solo mais rígida para suportar as cargas. Outra possibilidade é utilizar técnicas de melhoramento do solo. Existem várias técnicas de melhoramento do solo, dentre elas estão a Deep soil - tratamento de solos moles por meio da mistura com agentes químicos estabilizantes (cal e/ou cimento), formando coluna de material melhorado. E Jet Grouting - injeção de nata de cimento no solo por meio de jatos horizontais ou verticais de alta pressão e velocidade.



## **2.MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1.Local do Estudo**

As amostras do solo expansivo foram coletadas na localidade bairro cruzeiro, na cidade de Tucano na Bahia, que fica a 250 km da capital, Salvador. Observou-se que a edificação foi afetada por uma trinca, que evoluiu para uma rachadura, em seu contrapiso.

### **2.2.Ensaio Realizados**

Na elaboração desta pesquisa, foram utilizados os ensaios de análise granulométrica por peneiramento e sedimentação conforme norma ABNT NBR 7181:2016, ABNT NBR 7180:2016 e ABNT NBR 6459:2017.

#### **2.2.1.Curva Granulométrica**

Na execução do ensaio de análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, uma amostra de solo é selecionada, então, se faz a separação dos grãos (usando como defloculante hexametáfosfato de sódio) e posteriormente é feito seu peneiramento. As peneiras utilizadas na realização do ensaio, possuem diâmetros reduzidos gradativamente, sendo o peneiramento suficiente para caracterizar os solos grossos, em seus diferentes diâmetros. Dessa forma, pode ser determinado o diâmetro máximo da porção que passou pela peneira e sua porcentagem. Já para solo fino, com dimensões menores que 0,075mm, ou seja, toda parcela de amostra que passa da peneira de número 200 (0,074mm), usa-se o método de sedimentação contínua, que determina seus diâmetros a partir da velocidade de queda das partículas em um meio aquoso. Com os dados obtidos nos ensaios, cria-se uma curva de distribuição granulométrica, onde, através do peso da parcela de solo retida em cada peneira, obtém-se a porcentagem em relação ao peso total da amostra.

#### **2.2.2.Índices de Consistência**

A consistência pode ser definida como o grau de resistência de um solo de granulometria fina à fluência ou à deformação [5]. Para determinar o limite de liquidez do solo, obtém-se um gráfico onde o eixo de ordenadas em escala aritmética representa os teores de umidade e o eixo das abscissas, em escala logarítmica, representa o número de golpes. Os valores obtidos no ensaio formam uma reta. O ponto de abscissa equivalente a 25 golpes determina no eixo das ordenadas o teor de umidade que é o limite de liquidez (LL) do solo, geralmente expresso em porcentagem. No caso em que não se consegue a abertura da ranhura ou o seu fechamento com mais de 25 golpes, considera-se que a amostra não apresenta limite de liquidez (NL).



O limite de plasticidade do solo é obtido, colocando-se a amostra na cápsula de porcelana e misturando água destilada até a obtenção de uma massa plástica e uniforme. Com a massa obtida forma-se uma pequena bola, que deve ser rolada sobre a placa de vidro esmerilhado, com pressão suficiente da mão para que a massa tome a forma de um cilindro de 3 mm de diâmetro por 10 cm de comprimento (gabarito). Este cilindro confeccionado deverá estar íntegro (sem fissuras) e consistente a ponto de manter as dimensões para que seja determinada em estufa a umidade de plasticidade (LP).

O índice de plasticidade (IP) será determinado em função da diferença de umidade LL e LP, no qual o resultado representa a porcentagem de água necessária para que o solo passe do estado plástico para o estado líquido. Logo, quanto maior está variação, mais plástico o solo será.

### 2.2.3. Identificação do Argilomineral

A carta de Van Der Merwe [6] se baseia no uso do limite de Atterberg para classificação da expansividade do solo, o método consiste em um gráfico cartesiano construído com base no limite de plasticidade, e na quantidade de fração de argila.

O índice de atividade de Skempton é obtido pela análise entre o IP e o percentual da fração argila (% < 2 m) presente nas amostras de solo analisadas. Segundo Vargas [7], para avaliar a consistência do solo é indispensável fazer uma análise comparativa de sua plasticidade, que pode ser realizada por meio da carta de plasticidade em conjunto com o gráfico de atividade de Skempton.

### 2.2.4. Estimativa da Pressão de Expansão

Através dos métodos apresentados abaixo, há possibilidade de estimar a tensão gerada pela expansibilidade do solo que poderá ser transferida para a edificação, tendo como base parâmetros referentes ao material fino da amostra. Segundo Santos [8], a pressão de expansão – Ps (swelling pressure), é definida como a pressão necessária para impedir a expansão de volume em um solo saturado por água.

A tensão de expansão do solo pode ser determinada com base nos métodos de Nayal e Chritensen, conforme visto na Equação 1, e Chen, como visto na Equação 2. Neste estudo, a estimativa da pressão de expansão será determinada com a média das tensões obtidas pelos autores citados [8].

$$PS = 3,6 \times 10^{-2} \times (IP)^{1,12} \times \left(\frac{C}{W_n}\right)^2 + 3,8 \quad (1)$$

Em que Ps = pressão de expansão (lbf/pol<sup>2</sup>), IP = índice de plasticidade (%), C = percentual de argila da amostra (%) e Wn = teor de umidade (%).

$$PS = 0,2558e^{0,08381IP} \quad (2)$$

Em que  $e$  = número de Euler e  $IP$  = índice de plasticidade (%).

Os parâmetros utilizados nas equações são em porcentagem, resultando em pressão com a unidade do sistema inglês, podendo ser convertido em outras unidades mais usuais.

### 3.RESULTADOS

Nas Figuras 1(a) e 1(b), é possível observar que as rachaduras encontradas no contrapiso da edificação chegam a medir 5mm de espessura. Nesse caso trata-se de uma fissura ativa, que vem evoluindo com o passar do tempo, este tipo de fissura é um indicativo de que algo está errado e necessita de uma melhor análise e intervenção.

Figura 1 - (a) Vista superior da rachadura; (b) Detalhe do contra piso da edificação com rachadura.



(a)



(b)

Com base na granulometria realizada com a amostra do solo, observa-se que aproximadamente 46% do solo possui dimensão de partícula menor que 0,002mm, demonstrando um alto percentual de material fino, portanto com probabilidade de ser expansível. Ainda, como demonstrado na Tabela 1, nota-se que o solo é altamente plástico e possui um grande potencial expansivo devido ao seu alto índice de plasticidade, limite de liquidez e atividade.

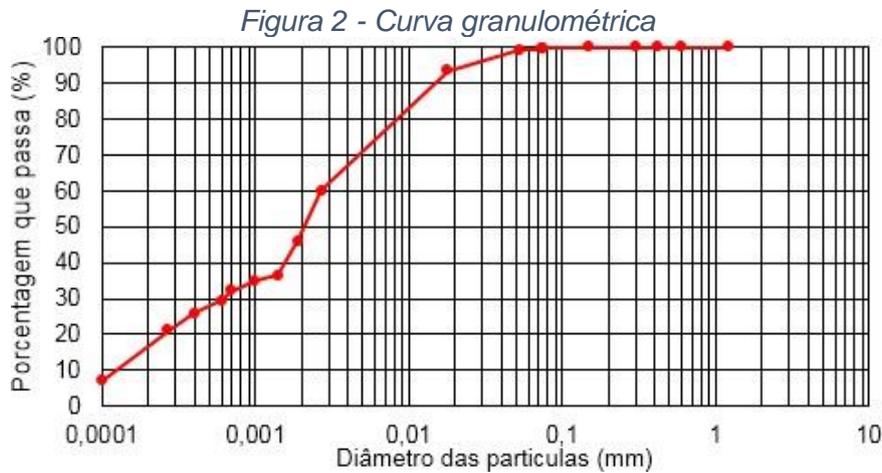


Tabela 1 Limites de Atterberg

Propriedade	Valor Medido
LL (%)	52,8
LP (%)	20,49
Atividade*	0,70
LL/LP*	2,58
IP (%)	32,31
Massa específica dos sólidos, $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,55
Umidade (%)	12,33

\*Adimensionais

Com base nos dados obtidos e com a metodologia proposta no tópico 2.2.4 foi mensurada a pressão que o solo transfere para a edificação. A média encontrada entre os valores dos métodos foi de 189,90 kPa, como indica a Tabela 2. Comparando o valor obtido com os valores citados por Santos [8], o valor de pressão demonstra que o solo possui um potencial médio a elevado de expansão.

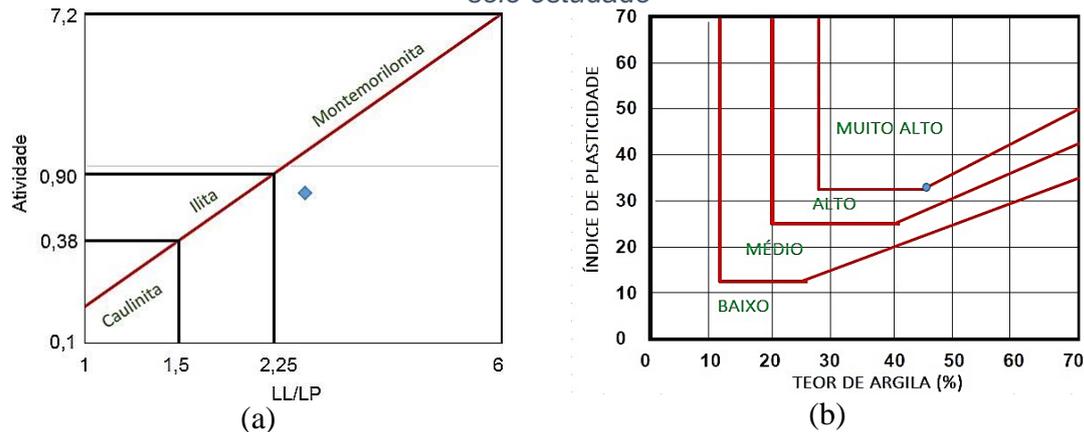
Tabela 2 Valores de pressão de expansão

Método Aplicado	Pressão de Expansão (kPa)
Nayal e Chritensen	195,60
Chen	184,20
Valor médio	189,90

Na identificação do argilomineral na fração argila, que está presente na amostra do solo, utilizou-se um gráfico, no qual o eixo das abcissas apresenta a relação entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade e o eixo das ordenadas apresenta a atividade de Skempton, conforme Figura 4a. Essa atividade é a razão entre o índice de plasticidade e a percentagem de fração de argila da amostra. Esse método permite identificar o argilomineral, dessa forma tem-se uma idéia se o mesmo apresenta o comportamento expansivo na

presença de água. O Argilomineral encontrado foi a montemorilonita que é classificada como uma argila expansiva, favorecendo a expansibilidade do solo e corroborando com os resultados de pressão de expansão.

Figura 4 – (a) Identificação do argilomineral; (b) Carta de Van Der Merwe aplicada ao solo estudado



O método conhecido como carta de Van Der Merwe [6] determina de forma qualitativa a expansividade do solo (Figura 4b). Como o solo estudado apresenta um teor de argila de 46% e índice de plasticidade de 32,31%, ao identificar o ponto correspondente aos dois valores na carta de Van Der Merwe [6], tem probabilidade alta a muito alta de ocorrência da expansão.

#### 4. CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que é possível identificar o potencial expansivo do solo com métodos indiretos, o que é de suma importância, visto que a identificação do solo antes da construção de uma edificação previne problemas futuros. Na elaboração deste trabalho foi feito a caracterização do solo, os percentuais de solos fino, bem como o índice de plasticidade que indicaram grande possibilidade de expansibilidade.

Após análise dos resultados, observou-se que o solo estudado é silte-argiloso de classe A-7-6 (classificação AASHTO). Através dos altos índices de plasticidade (32,31%), limite de liquidez (52,8%) e Limite de plasticidade (20,49%) é possível classificar o solo como altamente plástico e com uma grande quantidade de material fino na sua composição, condições necessárias para expansão e compressão, além de apresentar altas pressões de expansão, que caracterizam o solo como potencialmente muito expansivo (entre 189,9 e 195,6 kPa).

Será necessário refazer o contra piso com armaduras negativas, dimensionadas para suportar o momento negativo ocasionado por essa pressão de expansão. Nas construções futuras poderá ser usado um método de estabilização, que consiste em misturar cal na camada de solo, pois a mesma produz uma coesão no solo dificultando a entrada de água na estrutura



interna do argilomineral impedindo, desse modo, a expansão do solo, sendo está uma alternativa de menor custo

A estabilização de solos com o emprego da cal resulta em melhorias significativas na textura e estrutura do solo, minimizando a plasticidade e gerando uma elevação na resistência mecânica o que não é somente possível como provável [9].

## 5.REFERÊNCIAS

<sup>1</sup>SIRIDHARAN, P.V.; SIVAPULLAIAH, A. Effect of polluted water on the physico-chemical properties of clayey soils. **In:** Environmental geotechnics and problematic soils and rocks: proceedings of the international symposium held at Asian Institute of Technology, 1988.

<sup>2</sup>CHEN, F. H. **Foundations on expansive soils**. Elsevier Scientific Publication Company. 1983.

<sup>3</sup>CAVALCANTE, E. H.; CAVALCANTI JUNIOR, D. A.; SANTOS, W. J. Propriedades geotécnicas de um solo expansivo de Sergipe. **In:** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOVENS GEOTÉCNICOS, v. 2, 2006.

<sup>4</sup>PRESA, E. P. Parâmetros convenientes para projetos de rodovias em Solo Expansivo. **In:** II Seminário Regional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, ABMS-Salvador-Ba, 1980.

<sup>5</sup>REBELLO, Y. C P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 4. ed., Zigurate, 2008.

<sup>6</sup>VAN DER MERWE, D. H. The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction. **Civil Engineering**, Volume 6, N. 12, 1 December 1956, pp. 226-228.

<sup>7</sup>VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. Editora da Universidade de São Paulo, 1977.

<sup>8</sup>SANTOS, M. **Problemas geotécnicos associados a solos expansivos em Lisboa**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Nova de Lisboa, 2017.

<sup>9</sup>CRISTELO, N. M. C. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade do Minho. 2001.