

Avaliação da Expansibilidade do Solo de Agrestina-PE e sua Substituição na Base de uma Fundação Superficial

Rômulo Fontoura de Oliveira Júnior

Doutorando, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, romulofjr@hotmail.com

Jayne Araújo Silva

Mestra, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, Brasil, jayne.a.silva@hotmail.com

Eurico de Lira Araújo Junior

Doutorando, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, jjloren@hotmail.com

Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello

Professora, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, Brasil, isabelamevbello@hotmail.com

Silvio Romero de Melo Ferreira

Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, sr.mf@hotmail.com

RESUMO: O estado de Pernambuco apresenta solos expansivos em todas as regiões do estado. A expansão desses solos acarreta problemas às edificações que são de difíceis soluções. No município de Agrestina - PE, realizou-se um estudo mais aprofundado do terreno onde foi erguido uma edificação, em concreto armado, com fundações do tipo sapatas isoladas, para o qual foram feitos diversos ensaios laboratoriais geotécnicos, além de sondagens e os ensaios para avaliação da tensão de expansão do solo. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas (tipo bloco) para obter a caracterização física, tensão de expansão e expansão "livre". O solo apresenta uma tensão de expansão de 180,05 kPa. Para minimizar os efeitos patológicos desta possível expansão, foi proposta uma solução técnica com a substituição e posterior compactação de uma camada do terreno abaixo das sapatas isoladas, por material não expansivo, de características compatíveis com a finalidade de criar uma interface.

Palavras-chave: recalques diferenciais, fundações, solos não-saturados.

ABSTRACT: The state of Pernambuco presents expansive soils in all regions of the state. The expansion of these soils brings problems to buildings that are difficult to solve. In the municipality of Agrestina - PE, a more detailed study was carried out on the site where a building was erected, in reinforced concrete, with foundations of the type isolated shoes, for which several geotechnical laboratory tests were carried out, besides probes and tests for evaluation of soil expansion stress. Deformed and undeformed samples (block type) were collected to obtain the physical characterization, expansion tension and "free" expansion. The soil has an expansion tension of 180,05 kPa. To minimize the pathological effects of this possible expansion, a technical solution was proposed with the substitution and subsequent compacting of a layer of the ground below the insulated shoes, by non-expansive material, with characteristics compatible with the purpose of creating an interface.

Keywords: differential settlements, foundations, unsaturated soils.

1 Introdução

O fenômeno de instabilidade volumétrica (contração e expansão ou colapso) dos solos não saturados devido à inundação é complexo, estando sujeito a numerosos fatores. Entre outros, depende do tipo de solo (origem e formação), dos condicionantes climáticos existentes e do estado de tensão em que se encontra. A presença de solos que aumentam de volume (expansivos) em obras de engenharia pode causar sérios danos (fissuras, trincas ou rupturas) nas edificações, quando não é analisada de forma adequada na fase de projeto e ou de construção. Nos solos expansivos, uma das principais características morfológicas é a sua capacidade de contrair e fissurar com o ressecamento e expandir com o umedecimento. O solo apresenta superfície de fricção conhecida como "slickensides".

Nas edificações construídas em solos expansivos, observam-se nas fissuras diagonais embaixo das janelas e acima das portas, ondulações e rupturas nos pavimentos, fissuras generalizadas longitudinais e transversais junto a bueiros, etc. A Sociedade Americana de Engenharia Civil estima que uma em cada quatro casas tem alguns danos causados por solos expansivos. Em um ano típico, solos expansivos podem causar maior perda financeira para os proprietários do que danos causados por tremores de terra, inundações, tornados e furações combinados, Nelson e Miller (1992). A Associação de Seguradoras Britânicas estimou que o custo médio com solo expansivo para a indústria de seguros está em mais de 400 milhões de libras por ano, Driscoll e Crilly (2000). No Brasil não se têm dados específicos dos custos com danos causados por solos expansivos, quando há mudança de umidade.

Para proporcionar um desempenho adequado na presença de solos expansivos, na execução de estruturas, mesmo que térreas, por vezes, se faz necessária a criação de mecanismos que propiciem a absorção dos esforços que poderão surgir com a expansão do solo na presença de água, estabelecendo uma interação adequada entre o solo e a estrutura da edificação.

Este artigo tem por finalidade apresentar um estudo de caso, na cidade de Agrestina/PE (Figura 1), com a construção de uma obra pública, inaugurada em janeiro de 2018.



Figura 1. Localização do município de Agrestina, no mapa do estado de Pernambuco (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Agrestina>) (Acesso em jan/2019)

Após consulta à carta interpretativa (Figura 2) da suscetibilidade à expansão do solo no estado de Pernambuco, desenvolvida por Amorim (2004), foi constatado um grau de suscetibilidade baixo, e, mesmo assim, foram seguidas as recomendações apresentadas por Amorim (2004). Foram coletadas amostras do solo (Figura 3) e realizados ensaios de laboratórios, confirmando que o solo onde a obra seria assente é expansivo.

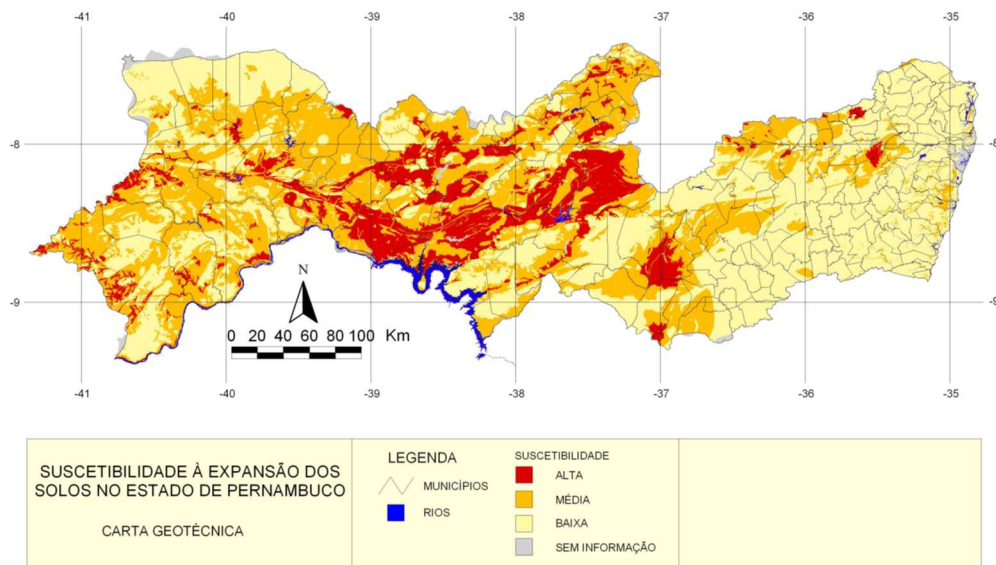


Figura 2. Mapa de suscetibilidade à expansão dos solos no Estado de Pernambuco (carta interpretativa) (Amorim, 2004).



Figura 3. Escavações no terreno da obra (Município de Agrestina-PE)

2 Metodologia

A edificação é térrea, e sua estrutura é constituída de pilares, vigas e lajes pré-fabricadas (do tipo treliçada, com blocos de isopor). Sua fundação, como mostra a forma da Figura 4 é direta e foi concebida em sapatas isoladas, com uma taxa de trabalho do solo (σ) da ordem de 200 kPa.

Após a constatação do grau de expansibilidade do solo, optou-se por executar uma substituição do solo desde a camada inferior à de assentamento das fundações, até a camada abaixo do contrapiso de toda a obra, com material diferente e devidamente qualificado para esta finalidade.

2.1 Ensaios de Campo e Laboratório

Inicialmente foram realizados 09 furos de sondagem à percussão seguindo o que preconiza a norma NBR-8036. A Figura 5 apresenta os resultados da sondagem SP01 e a Figura 6 os resultados da sondagem SP04. Identifica-se três diferentes camadas superficiais, até parar numa camada, impenetrável à percussão.

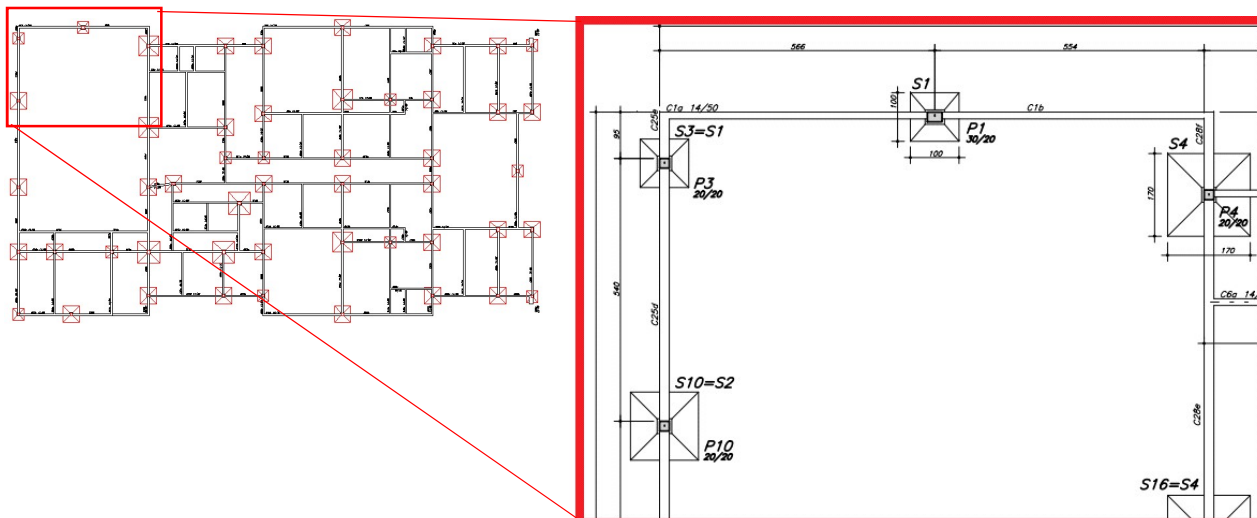


Figura 4. Forma da fundação (projeto do primeiro autor)

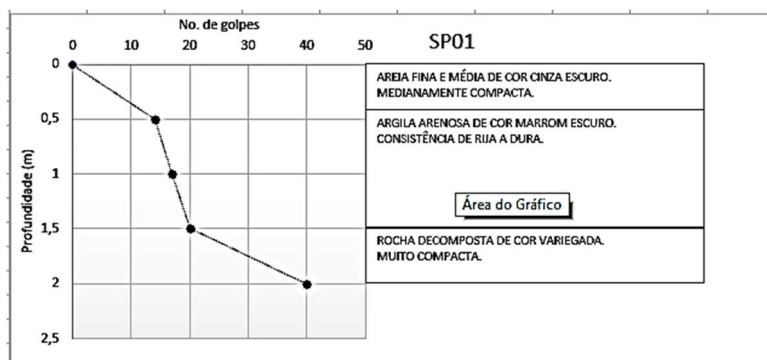


Figura 5. Furo de número SP01 da sondagem realizada no terreno

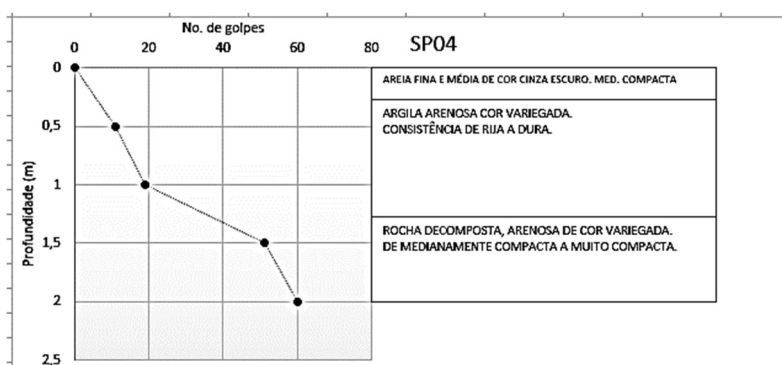


Figura 6. Furo de número SP04 da sondagem realizada no terreno

Para os ensaios com amostras coletadas na segunda camada na profundidade de 1,0 foram preparadas seguindo as recomendações da ABNT NBR 6457/16, e realizados ensaios de caracterização física. Para determinação da composição da granulométrica do solo foram efetuados de forma conjunta – peneiramento associado à sedimentação – de acordo com o procedimento da ABNT, NBR 7181/2016. A determinação dos limites de liquidez e plasticidade foram realizados de acordo com as normas da ABNT: NBR 6459/2016 e NBR 7180/2016. Para determinação da densidade real dos grãos, fez-se uso do método descrito na NBR 6508/1984. O ensaio de compactação do solo natural e misturas para determinar a umidade ótima e peso específico aparente seco máximo foi executado de acordo com a NBR 7182/2016. Os ensaios de expansão

“livre” foram realizados em células edométricas convencionais seguindo os procedimentos indicados na norma ASTM D4829/1995. Os corpos de prova do solo natural foram moldados em anéis de aço inoxidável com 2,0 cm de altura e área de 60,0 cm². A tensão de expansão foi avaliada pelos métodos: Carregamento após Expansão com Diferentes Tensões Verticais de Consolidação e Expansão e Colapso Sob Tensão, Delgado (1986), considerando as tensões de consolidação de 10 kPa, 20 kPa, 40 kPa, 80 kPa e 160 kPa.

2.2 Resultados dos ensaios

São apresentadas as caracterizações físicas e de expansibilidade do solo expansivo de Agretina-PE e a solução de fundação adotada.

2.2.1 Caracterizações Físicas e de Expansibilidade

O solo natural tem 51% de areia, 9% de silte e 40% argila, uma relação Silte/Argila de 27% e Peso Específico Real dos Grãos de 26,80 KN/m³, Limite de liquidez 50% e Índice de plasticidade de 30%. A umidade ótima de 16,00% e peso específico seco máximo de 17,90 KN/m³. É classificado como CH na classificação Unificada dos Solos. Pelo critério de Skempton (1953) o solo é inativo, de Williams e Donaldson (1980) é de alta expansibilidade e de Seed (1962) é de média expansibilidade. Silva (2018) encontrou nas três camadas a presença de argilo-minerais expansivos Montmorilonita, Mica e Vermiculita além de Caulinita.

A Tabela 1 mostra os índices físicos antes e após a inundação e os potenciais de expansão para várias tensões aplicadas do solo. Sob a tensão de 10 kPa o solo quando inundado apresenta expansão de 6,58% e sob a tensão de 160 kPa apresenta uma pequena expansão de 0,78%. A expansão “livre” do solo sob 10 kPa indica que se trata de um solo de alto potencial de expansão pelo Critério de Rodriguez E Ortiz (1975).

Tabela 1. Índices físicos antes e após a inundação do solo e potencial de expansão.

Legenda: W – Umidade, e- índice de vazios, ρ_d - Peso específico aparente seco, ρ_h - Peso específico úmido, Sr – Grau de saturação, SP - Potencial de Expansão = $100\Delta H/H_i$. Onde: variação de altura do corpo de prova devido a inunda e altura do corpo de prova

TENSÃO DE INUNDAÇÃO	ÍNDICES FÍSICOS INICIAIS					ÍNDICES FÍSICOS FINAIS					SP %
	W %	e	ρ_d KN/m ³	ρ_h KN/m ³	Sr %	W %	e	ρ_d KN/m ³	ρ_h KN/m ³	Sr %	
10 kPa	14,21	0,588	16,87	19,27	64,73	20,71	0,555	17,23	20,80	100	6,58
20 kPa	13,20	0,562	17,16	19,43	63,01	18,66	0,500	17,87	21,20	100	6,24
40 kPa	12,97	0,609	16,66	18,82	57,08	19,81	0,531	17,50	20,97	100	2,95
80 kPa	12,54	0,617	16,57	18,65	54,46	19,15	0,513	17,71	21,10	100	1,84
160 kPa	13,95	0,649	16,25	18,51	57,58	22,20	0,594	16,81	20,54	100	0,78

A tensão de expansão pelo método de Carregamento após Expansão é de 160 kPa e pelo método de Expansão e Colapso sob Tensão é 201 kPa (Figura 7). Considerando o valor médio de 180,50 kPa e o critério de Jimenez (1980), que relaciona os possíveis danos causados com as tensões de expansões.

O solo de Agrestina-PE tem possibilidade de causar danos graves as estruturas. Estes danos podem comprometer parcial ou integralmente o desempenho da estrutura.

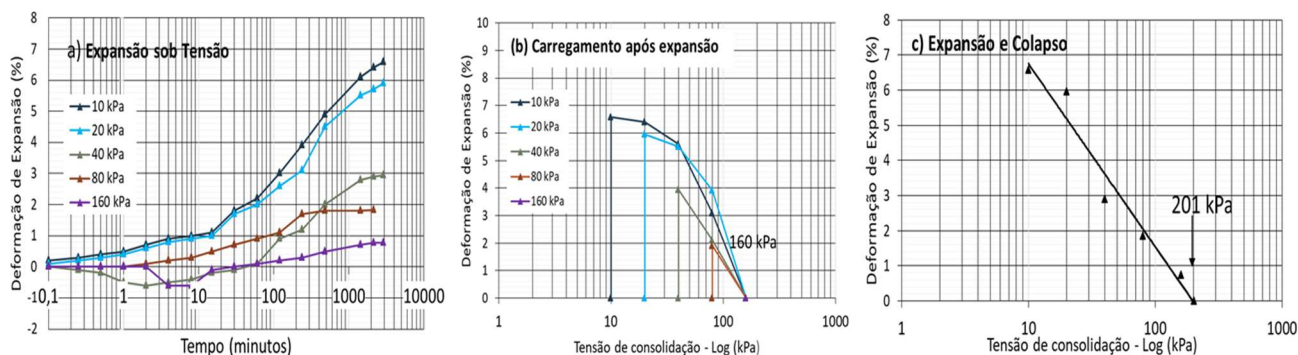


Figura 7. Avaliação da tensão de expansão: a) Curvas de deformação de expansão com o tempo, b) Método Carregamento após expansão, c) Relação deformação versus tensão.

Em todos os critérios, há a possibilidade de fissuras na edificação, necessitando que sejam tomadas providências para a prevenção das patologias.

2.3 Desenvolvimento do projeto

Há diversos tipos de soluções disponíveis para corrigir o comportamento expansivo e evitar danos às edificações. A remoção da camada de solo expansivo é utilizada quando o volume a ser retirado é pequeno. Em obras em que o volume a ser removido é elevado, utilizam-se técnicas de melhoramento com a possibilidade de aplicar diversos materiais, para utilizar o solo do local e não haver a necessidade de deslocar grandes volumes de solos de outras localidades para substituição, o que despenderia uma grande quantidade de mão-de-obra e elevado custo.

A solução adotada é um fundação superficial apoiada a 1,0 m de profundidade com dimensões variáveis em função da carga do pilar (Figura 4). Um corte com detalhes da fundação é mostrado na Figura 8. A cava de fundação teve dimensões das sapatas acrescidas de 1,0 m de cada um dos lados e atingindo a 1,0 m abaixo da cota de fundação.

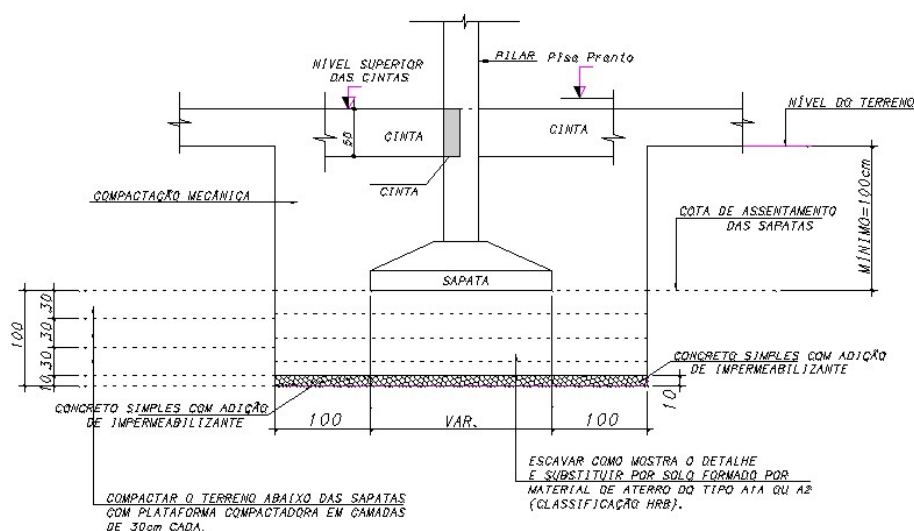


Figura 8. Detalhe das cavas das sapatas (projeto do primeiro autor)

O solo expansivo e parte da rocha alterada foram substituídos por outro solo contendo: 90% de areia, 6% de silte e 4% argila, não líquido não plástico. No contato com a alteração de rocha foi colocado um concreto simples com 0,10 m de espessura (Figura 9). O solo arenoso foi compactado em três camadas de 0,30 m, com compactador do tipo placa vibratória. A sapata foi concretada e a cava de fundação foi preenchida com solo arenoso compactado. O material arenoso, de substituição, ainda serviu como aterro de todo o caixão da obra

até o nível do contrapiso. Ainda na superfície, foram criados dispositivos de controle de drenagens (calçadas mais largas no entorno e sistema de valas para drenagem das águas pluviais). Todo o material original, retirado das cavas, foi descartado.



a) Expansão das cavas das sapatas



b) Mestras para concretagem da camada impermeabilizante de 10cm



c) Compactação das camadas do novo solo

Figura 9. Detalhes da execução da fundação

3 Conclusão

O solo foi classificado pela Classificação Unificada dos Solos como CH sendo considerado altamente plástico, apresenta expansão “livre” de 6,58% indicando alto potencial de expansão pelo Critério de Rodriguez e Ortiz (1975) e tensão de expansão média de 80,50 kPa com possibilidade de causar danos graves a estruturas pelo critério de Jimenez (1980).

A solução proposta e executada é em fundação superficial, com substituição do solo expansivo por um solo arenoso compactado em camadas, na cava de fundação com dimensões da sapata acrescidas de 1,0m de cada lado e abaixo da cota de fundação. Um camada de concreto simples de 0,10m foi colocado no contato da alteração de rocha, e um sistema de drenagem superficial foi implementado para reduzir a mudança de umidade no entorno da fundação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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) – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife, 2004.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984).. *NBR 6508: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 7181: Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 7182: Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1983). *NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios - procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT.

- American Society for Testing and Materials. *ASTM D4829* – (2011). *Standard test method for expansion index of soils*. In: Annual Book of ASTM.
- Dakshnamurthy, V. Raman. (1973), V. *A simple method of identifying an expansive soil*. *Soils and foudation*, v.13, n.1, pp. 97-104.
- Delgado, A. (1986). *Influência de la trayectoria de lãs tensiones en el comportamiento de las Arcillas expansivas y de los suelos colapsables en el laboratório y en el terreno*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.
- Driscoll, R., Crilly, M. (2000). *Subsidence damage to domestic buildings, Lessons learned and questions asked*, London, Building Research Establishment.
- Ferreira, S. R. M. (2010). Artigo: *Microestrutura de solos colapsíveis e técnicas de melhoramento*. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Católica de Pernambuco e Universidade de Pernambuco (UPE), X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Salvador, BA.
- Jimenez Salas, J. A. (1980). *Cimentaciones en terrenos expansivos or colasables*. *Geotecnia e cimientos III*, v.1, pp. 533-650. Ed. Rueda, Madrid.
- Nelson, J.D., Miller, D.J. (1992). *Expansive soils: problems and practice in foundation and pavement engineering*, New York, John Wiley & Sons.
- Libardi, Paulo Leonel. (2010). "*Água no solo*." Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2010): 103-52.
- Rodriguez Ortiz, J. M. (1975), *Las arrcillas ezpansivas: su estudio y tratamiento*. Bol. de inf. de Laboratório del Transporte y Mecánica del Suelo, nº 108, pp. 3-30.
- Seed, H. B., Woodward, R. J. e Lundgren, R. (1962). *Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays*. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division ASCE, Vol. 88 (SM3), Pp. 53 – 87.
- Silva J.A. (2018). *Estudo do comportamento geotécnico de um solo de potencialmente expansivo, encontrado em Agrestina/PE, aplicando cinza de casca de arroz e cal como aditivos estabilizantes*. Dissertação (Mestrado em ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL) - Universidade Federal de Pernambuco.
- Skempton, A.W. (1953). *The colloidal activity of clays*. In: Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics on Foundation Engineering, 3. v.1, pp.587-595, London.
- Williams, A. A. B.; Donaldson, G. W. *Building on Expansive Soils in South Africa*. 1973 – 1980. Proceedings 4th International Conference on Expansive Soils, Vol. II, Denver, Colorado, 1980. 834-844 p.