



Patologias Decorrentes de Solo Expansivo: Estudo de Caso na Cidade de Santana do Cariri – CE

Thiago Luiz F. RODRIGUES¹, João da Costa PANTOJA², Nathaly Sarasty NARVAEZ³

¹ Universidade de Brasília, Brasil, luiz.thiago@aluno.unb.br

² Universidade de Brasília, Brasil, joaocpantoja@gmail.com

³ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, natalysarasty@gmail.com

Resumo: A ocorrência de solos expansivos tem sido registrada com frequência em regiões áridas e semiáridas, nas quais a variação de umidade é grande, locais em que a evaporação excede a precipitação pluviométrica. Este trabalho analisa as patologias decorrentes desse tipo de solo na cidade de Santana do Cariri, CE. A identificação da existência de solos expansivos é realizada com base em trabalhos científicos desenvolvidos na região comprovando a existência de atividade expansiva no solo. O objeto de estudo consiste em um conjunto habitacional do programa Minha Casa Minha Vida, em que 21 moradias foram analisadas. Inspeções visuais e entrevistas com os moradores da região permitiram estabelecer os tipos de patologias sofridas pelas edificações analisadas decorrentes do solo expansivo existente na região.

Keywords: solo expansivo, patologias, inspeção visual

1. Introdução

O crescimento dos centros urbanos e o aumento populacional vivenciado nas últimas décadas têm ocasionado uma grande expansão territorial do ser humano, esse fator contribui com a ocupação de áreas que são consideradas problemáticas sob o ponto de vista da engenharia, o que engloba aspectos ligados ao saneamento, mobilidade urbana e até mesmo ao comportamento geotécnico dessas regiões. É neste cenário que o estudo sobre os chamados solos expansivos vem ganhando maior destaque no Brasil ao longo últimos anos. Ferreira (2010) afirma que obras de engenharia construídas na presença deste tipo de solo podem sofrer sérios danos, caso não haja uma análise adequada durante as etapas de projeto e construção. Além disso, é válido destacar que a expansividade dos solos pode ocasionar danos ainda maiores nas estruturas de pequenas edificações, pois, na maioria dos casos, estas não transmitem tensões suficientes ao solo de modo a evitar a sua expansão. Uma expansão dos minerais do solo em apenas 5%, por exemplo, já é capaz de danificar uma edificação (SANTOS, 2017).

Outro fator desfavorável no que diz respeito aos solos expansivos é que sua detecção não pode ser realizada a partir de um simples ensaio de prospecção de solo, como a sondagem à percussão, prática amplamente utilizada no Brasil. Para isso, se faz necessária a realização de ensaios laboratoriais mais complexos e que demandam maiores conhecimentos técnicos. Neste sentido, muitas edificações são construídas sobre solos expansivos e isto só é notado com o surgimento das patologias a eles associadas. Essa situação é ainda mais comum na realidade de pequenas cidades, geralmente afastadas dos grandes centros urbanos, ou em muitas obras públicas, nas quais o cronograma e orçamento acabam limitando a realização de um estudo preliminar satisfatório, aumentando os riscos de problemas futuros e podendo gerar custos ainda maiores comparados ao estudo inicial (RIBEIRO, 2019).

Diante do exposto, fica claro a importância de se conhecer as características do fenômeno de expansibilidade do solo bem como suas implicações em obras civis, principalmente em regiões nas quais haja registro de sua ocorrência. No Brasil, várias regiões possuem este tipo de solo: 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 (MAHLER, 1994). Deste modo, busca-se então proporcionar um desempenho adequado na presença de solos

expansivos, com 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 (FONTOURA et al., 2020).

O presente artigo tem por finalidade apresentar um estudo de caso, na cidade de Santana do Cariri – CE, com a construção de 40 unidades habitacionais do programa Minha Casa, Minha Vida em solo potencialmente expansivo. Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica a fim de estabelecer os conceitos e informações necessárias para o estudo. Em seguida, buscou-se, a partir da bibliografia existente, trabalhos produzidos anteriormente na região de enfoque, que caracterizassem aspectos geotécnicos, permitindo comprovar a existência de atividade expansiva do solo no local de interesse. Por fim, foram feitas inspeções visuais e entrevistas com moradores da área. Para a realização das entrevistas e inspeções visuais, adotou-se como amostra representativa um número de 21 moradias, o que corresponde a 52,5% das unidades habitacionais do conjunto.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Solos não saturados

Chagas et al. (2017) discorrem que os solos não saturados são aqueles em que os poros não estão completamente cheios de líquidos (normalmente a água) havendo também a presença de ar. Segundo Vilar e Ferreira (2015), por conta de sua estrutura, esses solos possuem como uma de suas principais características a tendência de sofrer variações no seu volume quando ocorrem alterações em seu teor de umidade, sob tensões praticamente constantes. Dessa forma, um aumento no teor de umidade pode resultar na redução de volume deste solo, caracterizando, portanto, os chamados solos colapsíveis. Contudo, na situação em que o acréscimo de umidade se relaciona diretamente com um aumento no volume do solo, destaca-se então um comportamento típico de solos expansivos.

Ainda de acordo com Vilar e Ferreira (2015), as razões para tais comportamentos são diferentes. Em solos de baixa densidade, o aumento de umidade resulta numa redução da resistência nos contatos interpartículas, provocando um rearranjo estrutural e uma nova condição de equilíbrio, o que irá culminar com a redução do seu volume. Já os fenômenos de expansão são resultantes de diferentes causas, normalmente associadas à presença de minerais de natureza expansiva, como as esmectitas, sendo então um fenômeno mais complexo, regido por causas físico-químicas e que, além do aumento de volume, também acaba originando uma tensão de expansão.

2.1.1. Solos Expansivos

Em campo os materiais potencialmente expansivos podem ser identificados como aqueles que quando secos podem apresentar boa resistência aparente, e sinais de empastilhamento, fenômeno que ocorre quando o solo é submetido à alternância dos estados úmido e seco, desagregando-se em pequenas pastilhas. Outras características desses materiais que podem ser notadas são o fato de se desagregarem, quase que imediatamente, ao serem imersos em água e quando agitados são quase que totalmente dispersos (PRESA, 1984).

Segundo Presa (1984), a expressão “material expansivo” refere-se aos materiais constituídos, preferencialmente, por argilominerais com estrutura laminar e potencialmente instáveis, tipo 2:1, com fracas ligações entre as camadas externas, tais como a montmorilonita, vermiculita, clorita e interestratificados. São materiais que permitem fácil entrada de água entre as camadas, com limites de liquidez elevados e alta plasticidade. Quando secos são duros, mas perdem facilmente sua resistência quando absorvem água. Sabe-se que todos os solos se expandem, seja por características mineralógicas, seja por redução da tensão efetiva sobre os mesmos, mas considera-se solo de caráter expansivo aquele que apresenta variação volumétrica superior a 1%, sem ser provocado por alívio de carga (PEREIRA, 2004).

A ocorrência de solos expansivos tem sido registrada em várias partes do mundo. Frequentemente, estes solos são identificados em regiões áridas e semiáridas, nas quais a variação de umidade é grande, locais em que a evaporação excede a precipitação pluviométrica. Segundo Mahler (1994), já foram identificados solos expansivos em todos os continentes do mundo (Figura 1).



Figura 1 - Regiões no mundo com problemas devido a solos expansivos. Fonte: SANTOS (2015).

2.2. Problemas decorrentes de solos expansivos

Em 2014, a *New York State Division of Homeland, Security and Emergency* realizou um levantamento a respeito dos custos relacionados aos danos decorrentes da expansão de solos. Apenas nos Estados Unidos, os valores acumulados giram em torno de U\$ 300 milhões por ano. Estima-se que os danos ocasionados pela expansividade dos solos a obras civis neste país são maiores até mesmo do que aqueles causados por catástrofes naturais, como tsunamis, terremotos, furacões e inundações (JONES E HOLTZ, 1973). Ainda, a Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE) estima que cerca de 1/4 das habitações dos Estados Unidos apresentem danos causados por estes solos. A Associação de Seguradoras Britânicas avaliou que o custo médio com solo expansivo para a indústria de seguros ultrapassa o valor de 400 milhões de libras por ano (DRISCOLL; CRILLY, 2000). No Brasil não existem dados oficiais dos sobre valores gastos com os danos causados pela expansividade dos solos.

Quando pequenas edificações são assentes em solos expansivos, o efeito da impermeabilização do terreno pela própria construção pode levar a uma elevação do teor de umidade, visto que, antes da construção, ocorria evaporação da água que ascendia por capilaridade. Este aumento de umidade pode provocar expansão que danifica as construções, provocando trincas ou ruínas (RIBEIRO JÚNIOR; CONCANI, 2005). Diversos fatores podem produzir variações de umidade, podendo ser necessário intervir ou controlar os seus efeitos. Variações sazonais do nível do lençol freático, regime de chuvas e presença de vegetação podem determinar a ocorrência de patologias associadas à expansão. Segundo Cavalcante et al. (2006), a presença de solos expansivos pode ser facilmente identificada quando construções leves sofrem levantamentos e desaprumos em períodos chuvosos, ocasionando o aparecimento de trincas quando retorna o período de estiagem. Geralmente, é possível observar o aparecimento de rupturas verticais e horizontais (Figura 2) em paredes e fraturas diagonais que se desenvolvem próximo de esquadrias (MAHLER, 1994).

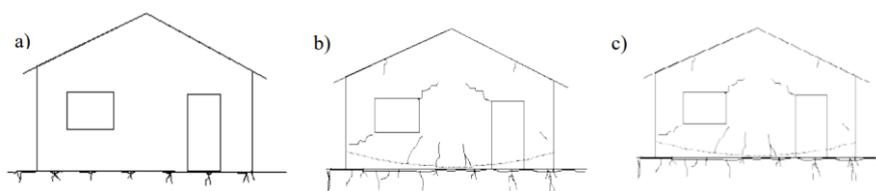


Figura 2 - Linhas de fendilhamento em edificações de baixa altura, de forma esquemática: a) Estado inicial b) Expansão no centro da edificação e retração na periferia c) Expansão nos lados da edificação. Fonte: Ayala Carcedo et al. (1986)

Conforme exemplificam Morales e Morales (2004), os principais danos que se podem encontrar em edificações assentes sobre solos expansivos são:

- a) Distorção e fissuração de pavimentos e lajes de pavimento;
- b) Fissuras da fundação em vigas, paredes e poços perfurados;
- c) Portas e janelas atoladas ou desalinhadas;
- d) Falha de aço ou concreto nos blocos que suportam vigas;
- e) Fendas oblíquas, mostrando que houve abatimento dos cunhais ou levantamentos da zona média das paredes;
- f) Danos acentuados nas faces de edificações expostas às maiores oscilações térmicas;
- g) Danos nos andares superiores do edifício, quando o movimento na estrutura é significativo.

Morales e Morales (2004) ainda reforçam que esses danos podem ocorrer dentro de alguns meses após a construção, desenvolvendo-se lentamente ao longo de um período de cerca de 5 anos, ou não aparecer por muito tempo, até que alguma atividade ocorra, perturbando a umidade natural do solo. A probabilidade de danos aumenta caso o clima da localidade atue para alterar as condições de água no de maneira sazonal.

3. Estudo de caso

A área objeto desse estudo é o Conjunto Habitacional Carlos Sobreira Cruz, situado próximo ao Estádio Municipal Luiz José de Lacerda na cidade de Santana do Cariri — Ce, composto de 40 unidades habitacionais com 41,16 m², construídos a partir do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), um dos maiores programas habitacionais já criados no Brasil. Conforme o IPECE (2018), Santana do Cariri localiza-se na Região Metropolitana do Cariri, no sul do Ceará, entre as coordenadas geográficas 7° 11' 18" S e 39° 44' 13" W (Figura 3), possui uma área total de 855,6 km² e tem um número de habitantes em torno de 17.489 pessoas. A distância de Santana do Cariri para a capital do Ceará, Fortaleza, é de, aproximadamente, 596 km.

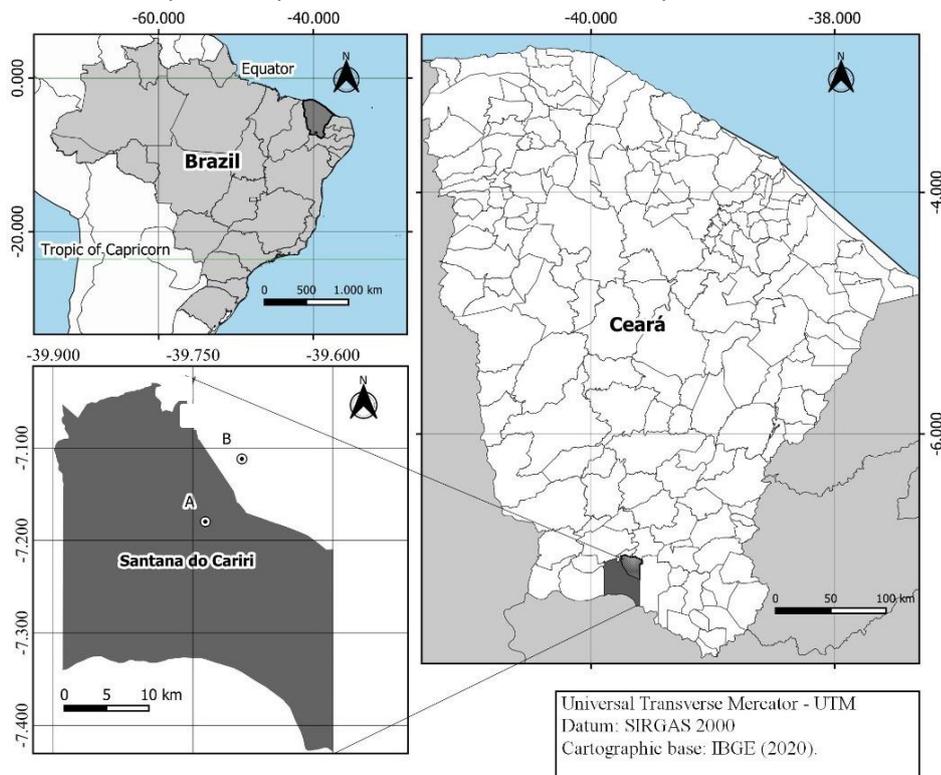


Figura 3 - Localização da Cidade de Santana do Cariri – CE Fonte: Autores.

3.1. Caracterização geotécnica

Conforme estudos realizados por Maciel (2016), o solo desta localidade é classificado como argila de alta plasticidade, apresentando uma fração de argila correspondente a 57,6% da amostra ensaiada e tendo 92,1% de material passante na peneira nº 200 (0,075mm), conforme a análise granulométrica normatizada pela NBR 7181/84. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos (2019), com 91,8% do seu material passante na peneira nº 200 e uma classificação de Argila de Alta Compressibilidade segundo o *Unified Soil Classification System - USCS*. As curvas granulométricas são apresentadas na Figura 4.

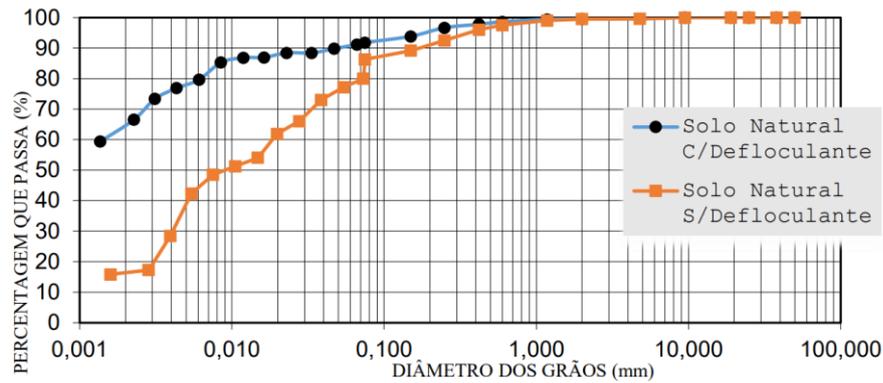


Figura 4 - Curvas granulométricas do solo natural em estudo. Fonte: Santos (2019)

Com relação aos ensaios de limites de liquidez e de plasticidade, foram obtidos por Maciel (2016) os valores de 91,8% e 35% respectivamente, gerando assim um índice de plasticidade (IP) de 57%. Esses valores diferem dos resultados obtidos por Santos (2019), com limite de liquidez de 65% e um limite de plasticidade de 30%, tendo como índice de plasticidade o valor de 35%. Relacionando-se o IP com a fração de argila presente na amostra, Maciel (2016) obteve um índice de atividade de 0,99 correspondendo a um solo normalmente ativo, e pelos critérios de Chen (1983) e Seed *et al.* (1962), um potencial de expansão muito elevado. Com relação ao critério de Williams e Donaldson (1980), o solo foi classificado como de expansão muito alta, assim como no critério utilizado por Van der Merwe (1964), que correlaciona o índice de plasticidade e a fração de argila no solo (Figura 5).

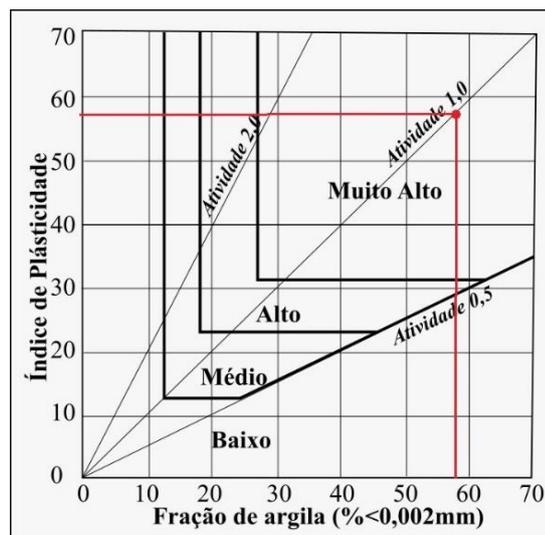


Figura 5 - Determinação do potencial de expansibilidade do solo. Fonte: Van der Merwe (1964) adaptado de Maciel (2016)

Maciel (2016) também realizou ensaios de expansão livre e tensão de expansão para três amostras de solo do local (Figura 6). Os corpos de prova utilizados nos ensaios de expansão livre apresentaram umidades iniciais de 10,33; 11,71 e 12,58%, com umidade média inicial de $W_{0m} = 11,54\%$. Após a inundação dos corpos de prova, o tempo médio de estabilização das deformações foi de 3840 min (aproximadamente dois dias e meio). Como resultado, constatou-se que o solo apresentou uma expansão livre média de 38,17%, o que resultaria em uma variação de 61 cm para a camada de solo massapê com 1,5 m de espessura, identificado na área de estudo. De acordo o critério de Seed et al. (1962) e de Holtz e Gibbs (1956) o solo apresenta potencial de expansão muito alto, superiores aos limites de seus respectivos critérios (25% e 35%).



Figura 6 – Preparação das amostras de solo. a) escavação para retirada de amostra, b) amostra indeformada moldada. Fonte: Maciel (2016)

Como resultado dos ensaios de expansão livre sob uma tensão de 5kPa (Figura 7), Santos (2019) obteve um valor médio de 37,10%, verificando que segundo os critérios de Seed et al. (1962) e *USBR Earth Manual* (1973), as amostras apresentaram potencial de expansão muito alto.

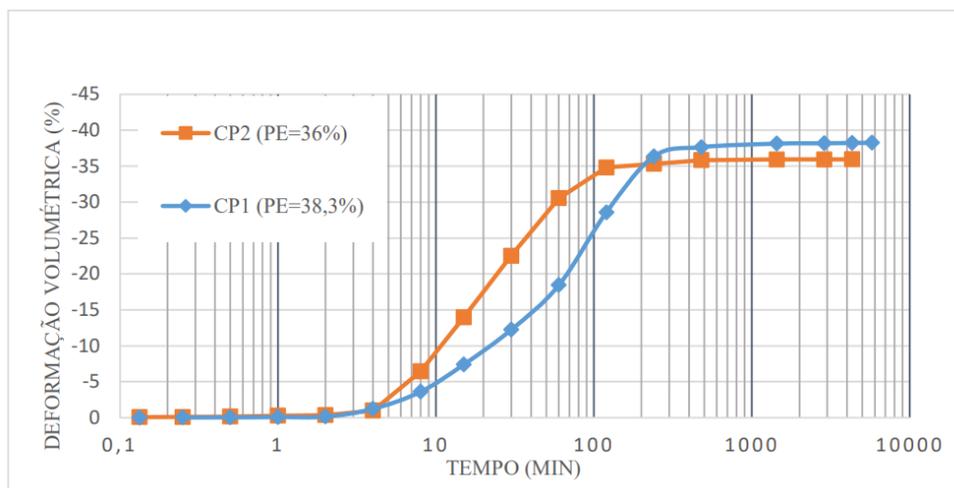


Figura 7 - Ensaios de expansão livre das amostras de solo natural. Fonte: Santos (2019)

No que tange à tensão de expansão, Maciel (2016) identificou um valor médio de 2.610 kPa (26,1 kgf/cm²) e Santos (2019) um valor médio de 2.340 kPa (23,4 kgf/cm²) (Figura 8). Além disso, destaca-se que a resistência média de um solo argiloso é de 1,25 kgf/cm², assim, os valores obtidos para a tensão de expansão nas amostras ensaiadas foram muito superiores às tensões admissíveis encontradas nas literaturas para solos correspondentes, o que implicaria na necessidade de uma tensão muito elevada para impedir a sua expansão. Desse modo, tal tensão poderia controlar o processo de expansão, entretanto, também

ocasionaria grandes recalques por ser muito superior à tensão admissível, provocando diversas patologias nas edificações e estruturas assentes sobre o solo.

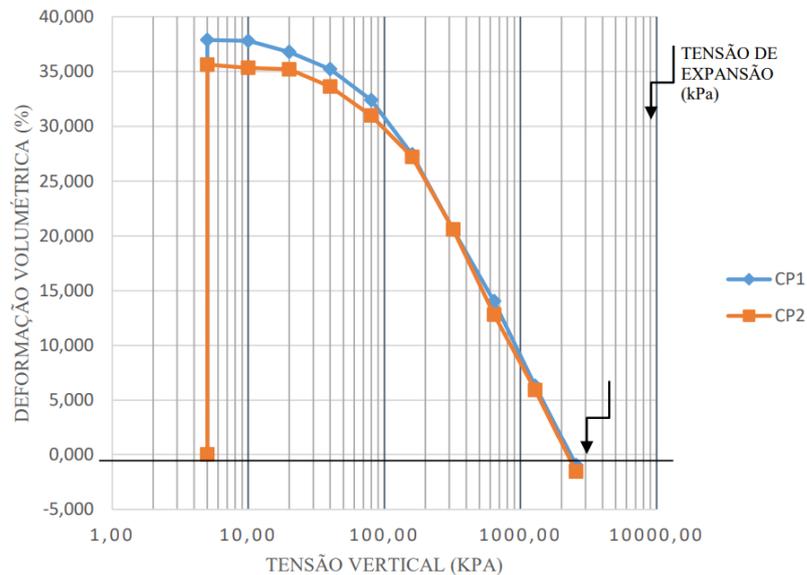


Figura 8 - Tensão de expansão para a amostra de solo natural. Fonte: Santos (2019)

Por fim, Maciel (2016) apresenta um relatório de sondagem à percussão (Sondagem SPT), realizado em 2009. Observa-se a partir do perfil de sondagem que a camada superficial de solo tem aproximadamente 0,5 m de espessura, coloração escura sendo composta por material argilo-siltoso. Em seguida, encontra-se uma segunda camada argilosa com coloração esbranquiçada e consistência rija, permanecendo até o limite da sondagem (2,45 m). A empresa executora do ensaio de sondagem estimou para o solo, uma taxa de trabalho igual a 1,5 kgf/cm². Dessa forma, segundo o relatório, atendendo essa taxa de trabalho é possível obter uma construção com segurança. Esta afirmação não considera, entretanto, o efeito do solo expansivo, reforçando a necessidade de a realização dos demais ensaios para subsidiar o dimensionamento das fundações de edificações em solos não saturados.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS PROJETOS EXECUTADOS

As unidades habitacionais construídas possuem 41,16 m² divididos em 02 quartos, 01 cozinha, 01 banheiro, 01 sala de estar e 01 varanda. O reservatório de abastecimento de água do imóvel possui uma capacidade de 500 litros. A fundação utilizada é do tipo direta em bloco corrido em calcário laminado, com 20 cm de largura, conforme Figura 05, dimensionada considerando uma tensão admissível de 1,5 kgf/cm². A partir de análise estrutural, constatou-se que a tensão média transmitida ao solo pela edificação é de 0,40 kgf/cm², inferior à sua tensão admissível, obtida através do ensaio de sondagem à percussão - SPT (1,5 kgf/cm²). Logo, a tensão transmitida ao solo não provoca recalques significativos à estrutura, podendo-se concluir que as patologias existentes são decorrentes, na maioria, do efeito expansivo do solo, pois seria necessária uma tensão de 65,25 vezes superior a transmitida pela edificação para impedir a sua expansão (MACIEL, 2016).

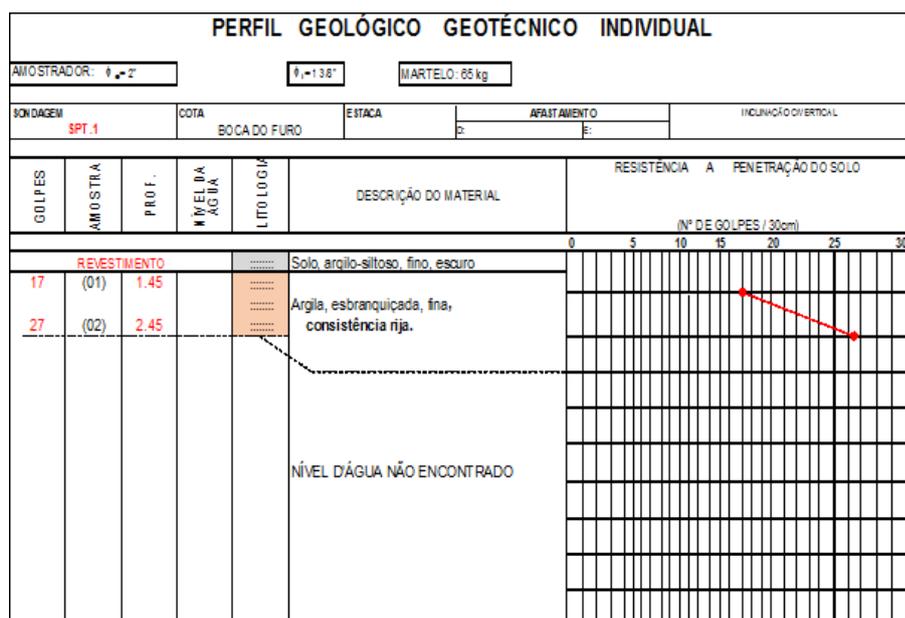


Figura 9- Laudo de sondagem SPT. Fonte: GEOSOMA - Geologia, Sondagens e Meio Ambiente Ltda.

4. Resultados e Discussões

4.1. Patologias Encontradas nas Edificações

Após visita à área de estudo, foram identificadas diversas manifestações patológicas nas unidades habitacionais, nas quais pôde-se observar os indícios dos efeitos da expansividade do solo anteriormente caracterizado. Das 21 residências visitadas, todas apresentavam algum tipo de patologia, quer sejam relacionadas a trincas, fissuras ou rachaduras em alvenarias, ou ainda avarias no piso, como levantamentos, trincas e desprendimentos.

Todos os entrevistados afirmaram a existência de fissuras e trincas nas alvenarias das unidades habitacionais, o que pôde ser comprovado por meio da inspeção visual realizada. Com relação às avarias no piso, elas foram confirmadas em pelo menos 71% das residências visitadas, enquanto problemas relacionados a esquadrias soltas ou desalinhadas puderam ser percebidos em 52% das edificações visitadas. Cerca de 81% dos moradores entrevistados informaram que realizaram algum tipo de tratamento paliativo nas patologias que surgiram em suas residências e estes relataram que mesmo após essas intervenções, houve o reaparecimento de grande parte das patologias tratadas, o que corrobora com a característica do processo de expansão e compressão experimentado pelo solo ao longo da alternância entre as estações de estiagem e de chuvas.

A seguir, são apresentados registros fotográficos para as principais patologias encontradas.

4.1.1. Levantamentos, Trincas e Fissuras de Pisos Cerâmicos

Devido às grandes variações de volume do solo ocorridas ao longo do processo de expansão nos períodos chuvosos e retração nos períodos secos, percebe-se que os revestimentos cerâmicos de piso provavelmente não resistem às tensões geradas, o que por vezes ocasiona um levantamento das placas cerâmicas, perdendo o seu nivelamento inicial, além do aparecimento de trincas e fissuras (Figura 11). Em algumas das residências visitadas, os moradores relataram que chegou a ser necessário serrar partes das esquadrias para que fosse possível fechá-las nos períodos em que a estrutura do piso apresentava maior levantamento. Esse tipo de patologia acaba gerando grandes transtornos aos residentes, uma vez que a abertura de trincas e fissuras acabam permitindo ainda mais a infiltração de água no piso, além de proporcionar incômodos estéticos e de usabilidade das residências, dificultando inclusive a realização de atividades de limpeza.



Figura 7 - Patologias em revestimentos cerâmicos de piso. Fonte: autores

4.1.2. Trincas e Fissuras em Alvenarias de Bloco Cerâmico

Como destacado anteriormente, todas as residências visitadas possuíam alguma patologia, sendo a incidência de trincas e fissuras nas alvenarias de blocos cerâmicos a mais recorrente (Figura 12). Por esse motivo, grande parte dos residentes entrevistados realizaram algum tratamento paliativo com o intuito de melhorar as características estéticas das edificações (Figura 13). Entretanto, na totalidade dos casos, essas intervenções não resolveram de fato o problema, visto que houve o reaparecimento das manifestações patológicas após um curto intervalo de tempo, geralmente logo após o início da estação chuvosa. As fissuras e trincas em sua maioria se caracterizavam por estarem dispostas na direção horizontal, paralelas às fundações (Figura 14). Entretanto, também pôde-se observar a incidência de fissuras e trincas verticais bem como inclinadas.



Figura 8 - Fissuras e trincas em alvenaria de bloco cerâmico. Fonte: autores



Figura 13 - Reparos realizados pelos moradores. Fonte: autores



Figura 14 - Fissuras e trincas horizontais. Fonte: autores

4.1.3. Fissuras e Trincas nas Proximidades das Esquadrias

Por fim, destaca-se a grande incidência de fissuras e trincas próximas de portas e janelas das edificações (Figura 16). Como já discutido anteriormente, no período chuvoso há um aumento da umidade, implicando na expansão do solo que reage gerando tensões nas fundações e nos pisos. Dessa forma, a tensão de expansão do solo acaba sendo muito superior ao peso que a estrutura transmite ao solo, provocando o seu levantamento e, por consequência, o surgimento das manifestações patológicas. Esse fato também pode ser útil para tentar explicar o motivo de grande parte dos danos identificados ocorrerem próximos às esquadrias, pois são regiões nas quais há aberturas nas alvenarias e, conseqüentemente, menos peso é transmitido.



Figura 9 - Presença de fissuras e trincas próximas de esquadrias. Fonte: autores

5. Conclusão

Com base nos dados levantados a partir da revisão bibliográfica em conjunto com as informações obtidas nas entrevistas e inspeções visuais realizadas, pode-se inferir que as manifestações patológicas citadas neste trabalho possuem relação direta com o comportamento expansivo do solo da região. Com isso, fica evidente a necessidade da realização de estudos geotécnicos mais aprofundados para a elaboração de projetos, principalmente em áreas com registro de solos problemáticos, como é o caso da cidade de Santana do Cariri - CE. No caso do conjunto habitacional foco desse estudo, construído a partir do Programa Minha Casa, Minha Vida, a análise da viabilidade técnica-financeira poderia promover uma utilização mais racional dos recursos empregados, proporcionando um melhor aproveitamento das características regionais, assim

como propondo soluções para problemas já enfrentados pela população local. Desta maneira, seria possível assegurar condições mínimas de moradia de modo a subsidiar as demandas existentes por habitações de interesse social, bem como corroborar com a promoção da dignidade humana e melhoria da qualidade de vida.

6. Referências

AYALA CARCEDO, J.F., GIJON, M.F., MOZO, C.O., et al., **Mapa predictor de riesgos por expansividad de argillas en España** a Escala 1:1.000.000, In: Geologia Ambiental. Instituto Geologico y Minero de España, Centro de Estudios y Experimentacion de Obras Publicas, España, Madrid, 1986.

CAVALCANTE, E. H., CAVALCANTI JÚNIOR, D. de A., SANTOS, W. J., & SOUZA NETO, J. B. **Propriedades geotécnicas de um solo expansivo de Sergipe**. In: II Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos - II Geojovem, Nova Friburgo/RJ, 2006.

CHAGAS, Gleiber da Silva; MOURA, Alfran Sampaio; CARNEIRO, Andressa de Araujo. **Utilização da compactação para redução do potencial de colapso/expansão de um solo silto argiloso de Massapê da cidade de Icó-CE**. 2017.

CHEN, F. H. (1988). **Foundations on expansive soils**, Elsevier Science Publishers B. V.DMA 2000 Hazard Mitigation Plan Update – Suffolk County New York. 2014. **“Expansive Soils.”** Suffolk County, New York.

DRISCOLL, R., CRILLY, M., **Subsidence damage to domestic buildings, Lessons learned and questions asked**, London, Building Research Establishment, 2000.

ferreira, S. R. M. **Volume change behaviour due to moisture variation in vertisol from a semiarid region in Pernambuco, Brazil**. In: Unsaturated Soils, Two Volume Set. CRC Press, 2010. p. 241-246.

FERREIRA, S. R. M. et al. **Propriedades geotécnicas de um solo expansivo tratado com cal**. Revista Matéria. UFRJ, Rio de Janeiro pp. 437 a 449. 2015.

FONTOURA, Rômulo; SILVA, Jayne; ARAÚJO JUNIOR, Eurico; Bello, Maria; FERREIRA, Silvio. **Avaliação da Expansibilidade do Solo de Agrestina-PE e sua Substituição na Base de uma Fundação Superficial**. 9º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 2020.

IPECE. (2018). **Perfil Básico Municipal 2017 Santana do Cariri**. Fortaleza: IPECE.

JONES, D.E. e Holtz, W.G. (1973). **Expansive soils – the hidden disaster**. Civil Eng., ASCE, New York, NY pp 87-89, Aug.

MACIEL, Máxel Coelho Rodrigues. **Avaliação da expansibilidade de um solo argiloso**. Monografia (Engenharia Civil) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Cariri - UFCA. Juazeiro do Norte, 2016.

MAHLER, Claudio Fernando. **Análise de obras assentes em solos colapsáveis e expansivos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1994.

MORALES, Emilio M.; MORALES, Mark K. **Expansive soils-identification, detection and remediation strategies**. Retrieved October, v. 30, 2018.

PEREIRA, Eliana Martins. (2004). **Estudo do comportamento à expansão de materiais sedimentares da Formação Guabirotuba em ensaios com sucção controlada**. São Carlos. Tese de Doutorado em Engenharia Geotécnica – USP – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RIBEIRO, Victor Holanda. **Estudo de caso de solução para fundação em solo expansível em Sousa-PB.** 2019.

RIBEIRO JÚNIOR, I.; CONCIANI, W. **Controle da Expansão do solo saprolítico de filito com cal hidratada cálcica para construções populares.** Seminário Mato-grossense de Habitação de Interesse Social, Anais eletrônicos-CD-ROM, Cuiabá: CEFET-MT/UFMT, Cuiabá-MT, 10p, 2005.

SANTOS, Lucas Coelho dos. **Estudo da estabilização de um solo expansivo através da incorporação de areia verde de fundição residual.** 2015.

SANTOS, M. D. D. **Problemas geotécnicos associados a solos expansivos em Lisboa.** Universidade Nova de Lisboa, 2017.

SANTOS, Danilo M. B. C. DOS; **Estabilização química de um solo expansivo da cidade de Santana do Cariri-CE.** Monografia (Engenharia Civil) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Cariri - UFCA. Juazeiro do Norte, 2019.

VAN DER MERWE, D. H. **The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils.** Civil Engineering Siviele Ingenieurswese, v. 1964, n. 6, p. 103-107, 1964.

VILAR, Orencio Monje; FERREIRA, S. R. M. **Solos colapsíveis e expansivos.** Solos não saturados no contexto geotécnico, v. 1, 2015.