

Colapsibilidade de solos em um distrito de Porto Velho - Rondônia: impactos em Habitações Populares

Soil Collapsibility of a Porto Velho district: impacts on popular housings

Gisleine Coelho de Campos^{a*}, Felipe Schaeffer Santos^b

Resumo

O artigo discute os conceitos envolvidos na identificação dos solos colapsíveis e os problemas decorrentes da sua manifestação, chamando a atenção para a necessidade de identificação dos solos com potencial de ocorrência de colapso para que os novos projetos e construções possam já contemplar medidas de mitigação dos possíveis impactos nas obras civis. Recomendações de projeto são dadas, chamando-se a atenção para a necessidade de aprofundamento dos estudos na região norte do país, em particular no estado de Rondônia, onde grandes barragens estão implantadas, os índices pluviométricos são elevados e a infraestrutura ainda é precária.

Abstract

This paper presents the concepts involved in the identification of collapsible soils and the problems arising from their manifestation, with emphasis on the need for identification the soils with potential for collapse, so that new projects and constructions can already contemplate mitigation measures of possible impacts on civil works. Some project recommendations are given, highlighting the need to develop new studies in the northern region of Brazil, particularly in the state of Rondonia, where large dams are located, rainfall levels are high and infrastructure is still precarious.

a Centro de Tecnologia de Obras de Infraestrutura, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

b BK Consultoria e Serviços Ltda., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: gisleine@ipt.br

Palavras-chave:

solo colapsível; patologia; projeto; Rondônia.

Keywords:

collapsible soil; damage; project; Rondonia.

1 Introdução

Solos colapsíveis são encontrados em diferentes partes do Brasil e do mundo. Um dos primeiros registros históricos do fenômeno foi o caso de uma escola ucraniana, no ano de 1938, que, após sofrer um incêndio, apresentou uma inclinação acentuada decorrente do colapso do solo pela inundação oriunda da água usada pelos bombeiros (CINTRA, 1998).

Em alguns casos, a manifestação do colapso pode se tornar um problema social, a exemplo das patologias identificadas em cerca de 4.000 edificações na cidade de Araraquara, no ano de 1995, em decorrência de chuvas intensas que resultaram em um acúmulo de 660 mm após 10 dias de chuvas. Outro caso, diretamente associado à precipitação pluviométrica elevada, é o da cidade de Terra Roxa, no Paraná, que registrou sérios danos em edificações e foi, inicialmente, associado ao enchimento do reservatório da Hidrelétrica de Itaipu. As investigações, no entanto, mostraram que ocorreu o colapso da camada superficial do solo em decorrência do seu encharcamento, tendo afetado, mais fortemente, as edificações com fundações diretas. Na cidade de Ilha Solteira, em São Paulo, estudos acadêmicos resultaram na primeira carta de risco de colapso do país, identificando áreas com riscos naturais e induzidos por fatores externos (OLIVEIRA, 2002), orientando melhor o uso e ocupação do solo.

Assim, sejam ocorrências pontuais ou regionais, o entendimento do fenômeno de colapso se faz necessário para que os novos projetos e construções apresentem soluções de engenharia capazes de minimizar os impactos negativos decorrentes da colapsibilidade dos solos.

Este artigo apresenta uma revisão conceitual do problema de colapso dos solos e fomenta a discussão de ocorrência desse fenômeno no estado de Rondônia, onde os dados ainda são escassos, mas os problemas sociais são de grande relevância.

2 Definição

Solos colapsíveis podem ser definidos como solos não saturados, com baixo teor de umidade e elevado índice de vazios, que podem sofrer uma espécie de colapso de sua estrutura em consequência do acréscimo do grau de saturação do solo, seja por razão de infiltração de águas pluviais, fissuras em tubulações enterradas, ascensão do lençol freático e, até mesmo, rupturas de fossas. Segundo Cintra e Aoki (2009) é o aumento do teor de umidade que produz o fenômeno de colapsibilidade, quando a carga externa atinge um valor mínimo, caso a caso, definido como carga de colapso. Cintra (1998) relata a existência de solos que entram em colapso apenas pelo peso próprio da camada, mas essa situação não é verificada nos sedimentos cenozóicos predominantes no território brasileiro.

A inundação do solo anula a sucção matricial (coesão aparente), reduzindo a resistência ao cisalhamento do solo e afetando a estabilidade de sua estrutura. Portanto, o requisito duplo para que as estruturas edificadas sobre solos colapsíveis sofram recalques de colapso é o aumento do teor de umidade até a inundação do solo e a atuação nas fundações, de uma carga no mínimo igual à carga de colapso.

A carga de colapso é, portanto, um condicionante do projeto. Assim sendo, os solos potencialmente colapsíveis podem não sofrer colapso por razão da baixa umidade ou carga momentâneas, o que significa que em uma mesma região   possível a ocorrência de edificações com patologias diversas em decorrência do colapso do solo e outras sem quaisquer sinais de patologias, em função dos diferentes graus de saturação do solo e das tipologias das edificações e fundações.

Em geral, o colapso produz recalques diferenciais acentuados e manifesta-se em um curto intervalo de tempo, diferindo dos recalques decorrentes do processo de adensamento do solo. Ademais, o processo de adensamento é caracterizado pela expulsão de água dos vazios do solo, enquanto que o processo de colapso é caracterizado pela expulsão de ar.

A característica de colapsibilidade de um solo deve ser verificada por meio de ensaios de laboratório (ensaios edométricos) ou de campo (provas de carga) e, muitas vezes, é desconhecida pelos projetistas e consultores de habitações populares que fazem uso apenas de simples cavas para investigar o terreno de fundação. A NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010), no capítulo 7.5.3, destaca que deve ser considerada a possibilidade de encharcamento do solo no projeto e no método construtivo.

3 Procedimento metodológico

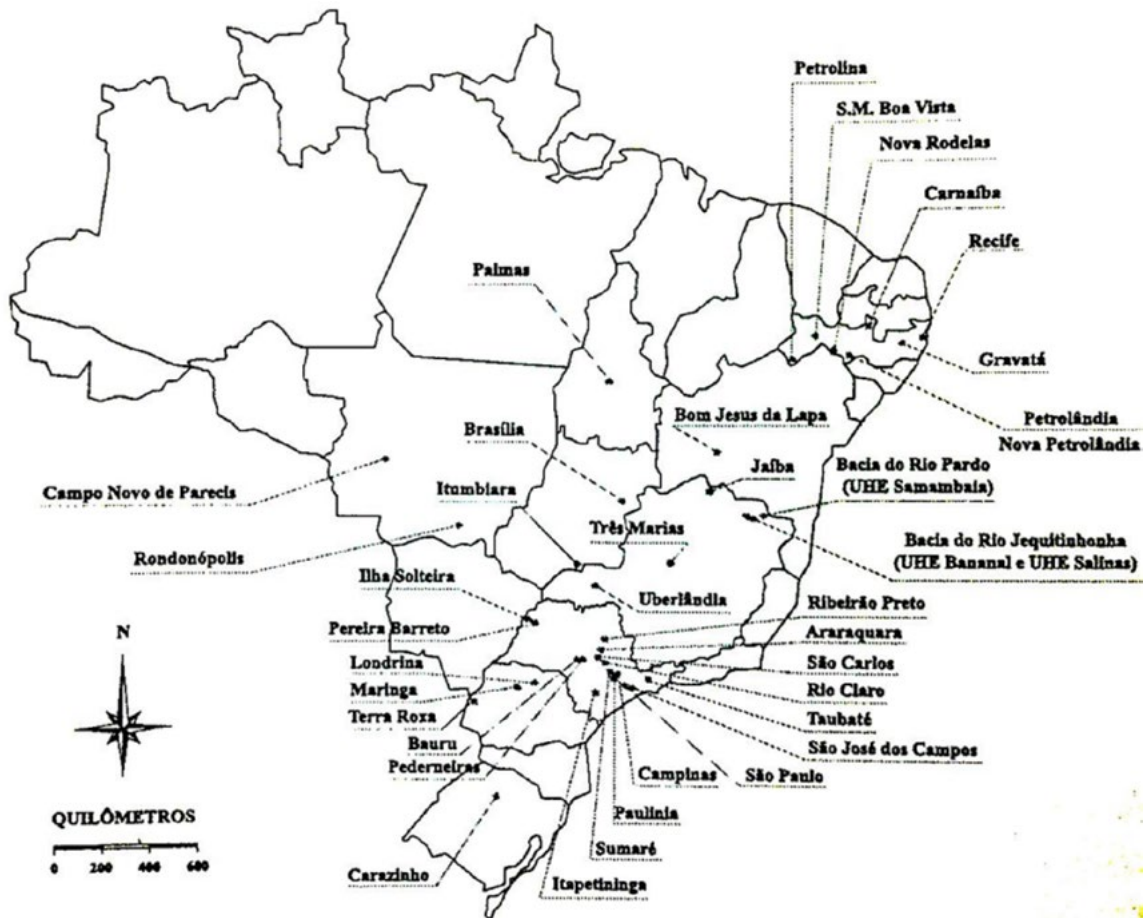
O presente artigo foi elaborado a partir de uma pesquisa de campo que tinha como principal objetivo a identificação das prováveis causas de patologias em edificações populares no distrito de Jacy-Paraná – RO. Para tanto, foi feito, em campo, o levantamento das características das edificações e das características geológico-geotécnicas do local e, na sequência, por meio de ensaios laboratoriais e estudos bibliográficos, buscou-se identificar os principais fatores geradores dos problemas encontrados. Destaca-se no presente trabalho um dos fatores intervenientes no desempenho deficiente das edificações: a colapsibilidade dos solos, característica essa, até então, desconhecida no local e que ainda carece de estudos mais aprofundados e de maior abrangência.

3.1 Solos colapsíveis no Brasil

Os condicionantes para a ocorrência de solos colapsíveis podem ser naturais, como a presença de solos que apresentam recalques importantes quando saturados e sujeitos às sobrecargas, ou antrópicos, tais como a existência de obras que provocam a saturação do solo ou mesmo o rompimento de tubulações. As regiões de clima tropical apresentam condições favoráveis ao desenvolvimento de solos potencialmente colapsíveis, seja pela lixiviação dos finos dos horizontes superficiais nas regiões onde há alteração de estações secas e de precipitações intensas, seja pela deficiência de umidade dos solos que se desenvolvem em regiões áridas ou semiáridas (FREITAS, 2016).

Diversos estudos apontam a existência de solos colapsíveis em várias regiões do Brasil. Cintra e Aoki (2009) apresentam o mapa da **Figura 1**, atualizado até 2009, com a indicação de diferentes municípios onde há o registro da presença de solos colapsíveis. O mapa sugere uma concentração de ocorrências nas regiões sul e sudeste e a ausência de casos na região norte do país.

Figura 1 – Mapa de ocorrências de solo colapsível no Brasil



Fonte: Cintra (2009, p. 14)

No entanto, há que se destacar que a maior parte dos estudos publicados, envolvendo a realização de ensaios de campo e de laboratório, está concentrada nas regiões sul e sudeste, dando a falsa impressão da inexistência desse problema no norte do país. Estudos mais recentes sugerem problemas similares em outros municípios, sendo destacados, neste trabalho, as ocorrências no estado de Rondônia, no qual grandes obras de infraestrutura foram implantadas na última década.

O distrito de Jacy-Paraná fica a 87 km de Porto Velho, capital do estado de Rondônia, na BR-364, sentido Acre. É o distrito mais antigo de Porto Velho; possui como parte de sua história a construção da Estrada de Ferro Madeira Mamoré, além de possuir belas riquezas naturais como o rio Jacy-Paraná e as praias no verão, com a seca do rio.

A construção das Hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau no Rio Madeira, próximas ao distrito, ocasionou diversos efeitos, dentre os quais o grande crescimento da população em um curto intervalo de tempo (pico de ocupação entre os anos de 2008 e 2012), que não foi acompanhado pelo crescimento das redes de infraestrutura urbana.

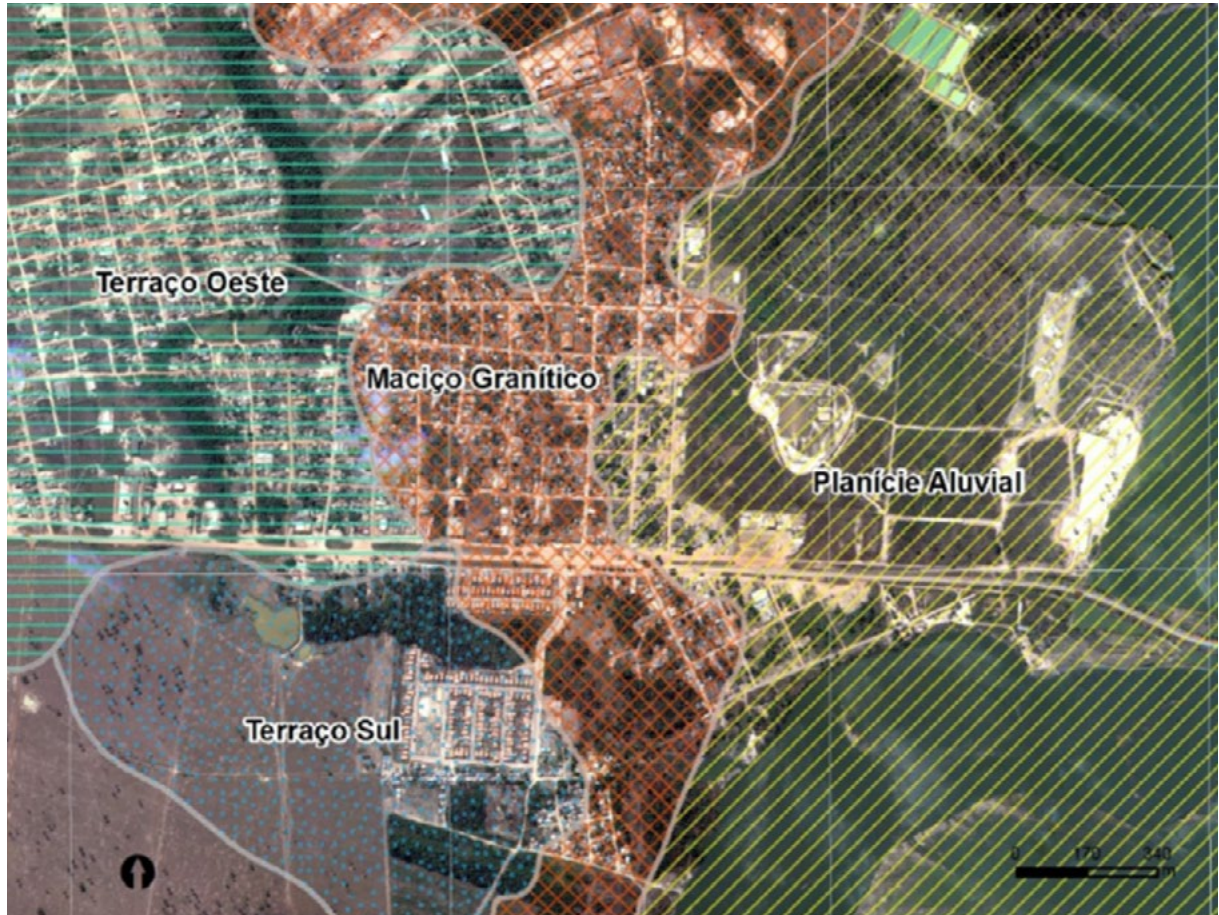
Sondagens a trado e poços de investigação geológico-geotécnica executados em diversos pontos do distrito permitem identificar o solo local com duas origens distintas:

- i. transportados, constituindo os depósitos aluvionares e coluvionares; e
- ii. residuais, constituindo os solos provenientes de alteração da rocha granítica.

Grande parte do material aflorante no município de Jacy-Paraná é composta por sedimentos e terraços de origem colúvio-aluvionar, divididos em três compartimentações geológico-geomorfológicas principais: planície aluvial, terraço sul e terraço oeste. Como substrato desses depósitos sedimentares ocorre rocha granítica e produtos de sua alteração (solos residuais) que, por vezes, aparecem expostos em superfície, sobretudo na região central do distrito (**Figura 2**). Grande parte desses solos superficiais encontra-se com processo de laterização instalado, apresentando concreções de argila cimentadas por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

Com base na literatura especializada, a ocorrência de solos colapsíveis está intimamente correlacionada com os processos intempéricos que atuaram nos horizontes do solo ao longo do tempo. Portanto, a colapsibilidade do solo pode se manifestar tanto em solos transportados como em residuais, de origem sedimentar ou cristalina, desde que esses sejam parcialmente lixiviados e apresentem alto índice de vazios em sua condição não saturada.

Figura 2 – Compartimentação geomorfológica do distrito

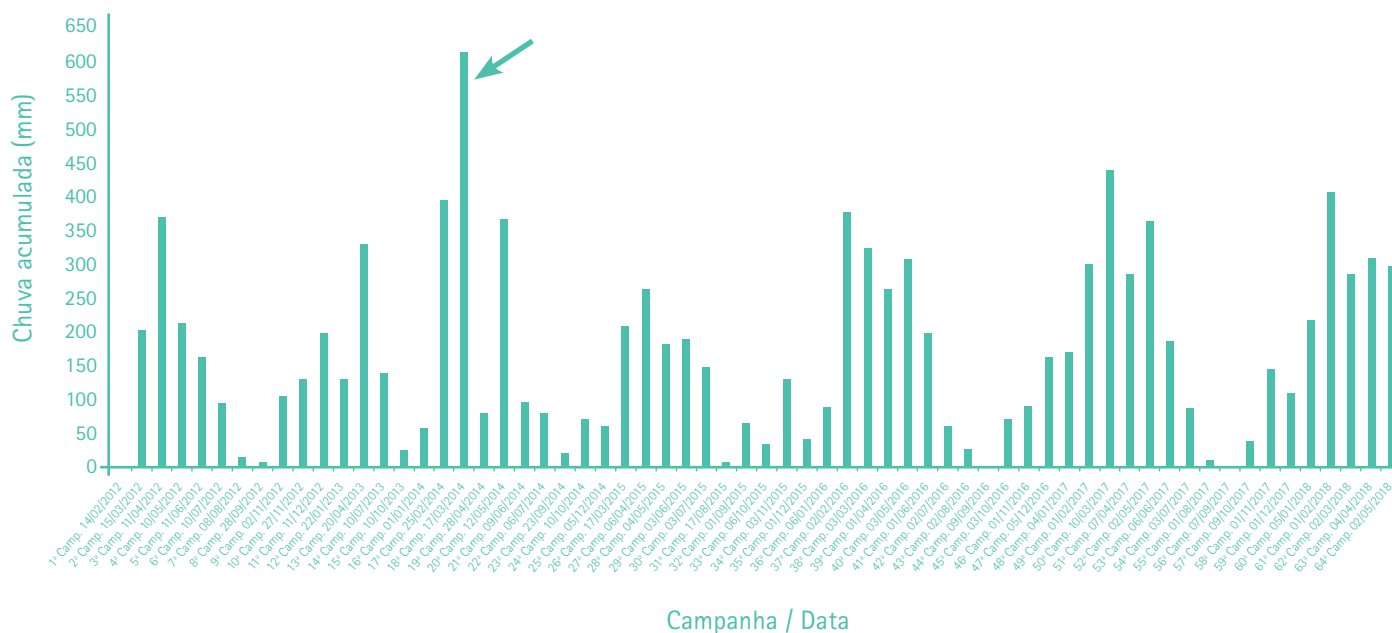


Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2018, p. 67).

Em termos pluviométricos, observa-se em Jacy-Paraná índice similar ao descrito no item 1 para a cidade de Araraquara, SP, associado à grande cheia do Rio Madeira no ano de 2014, como indica a seta verde no histograma da **Figura 3**.

Reitera-se que o problema geotécnico de colapsibilidade é pouco catalogado no estado de Rondônia, sendo que a literatura técnica disponível até 2010 não mencionava, categoricamente, danos em construções vinculados a subsidências em solos colapsíveis (ADAMY, 2010). Nesse estado, até então, os principais riscos geológicos estavam associados aos fenômenos de deslizamentos, ravinas, voçorocas, assoreamentos, dolinas e ao fenômeno de "terras caídas" (ADAMY, 2010). Desse modo, a constatação de solos colapsíveis neste trabalho fomenta e alerta a comunidade técnica sobre a possível ocorrência desse problema geotécnico no estado de Rondônia.

Figura 3 – Distribuição mensal da precipitação no distrito Jacy-Paraná



Fonte: adaptado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2018, p. 10)

3.2 Características das fundações das edificações populares

Poços de investigação abertos em edificações de diferentes tipologias situadas no distrito de Jacy-Paraná permitiram identificar a presença de três situações típicas, a saber:

i. edificações sem elementos de fundações específicos, cuja estrutura se encontra, diretamente, apoiada sobre blocos de alvenaria apoiados na camada superficial do terreno. Nos casos em que a camada superficial do terreno apresenta capacidade de suporte compatível com o carregamento oriundo da edificação e não há problemas erosivos causados pelo fluxo das águas superficiais, as edificações apresentam-se estáveis e sem patologias de fundações (há, em alguns casos, patologias decorrentes do sistema construtivo empregado);

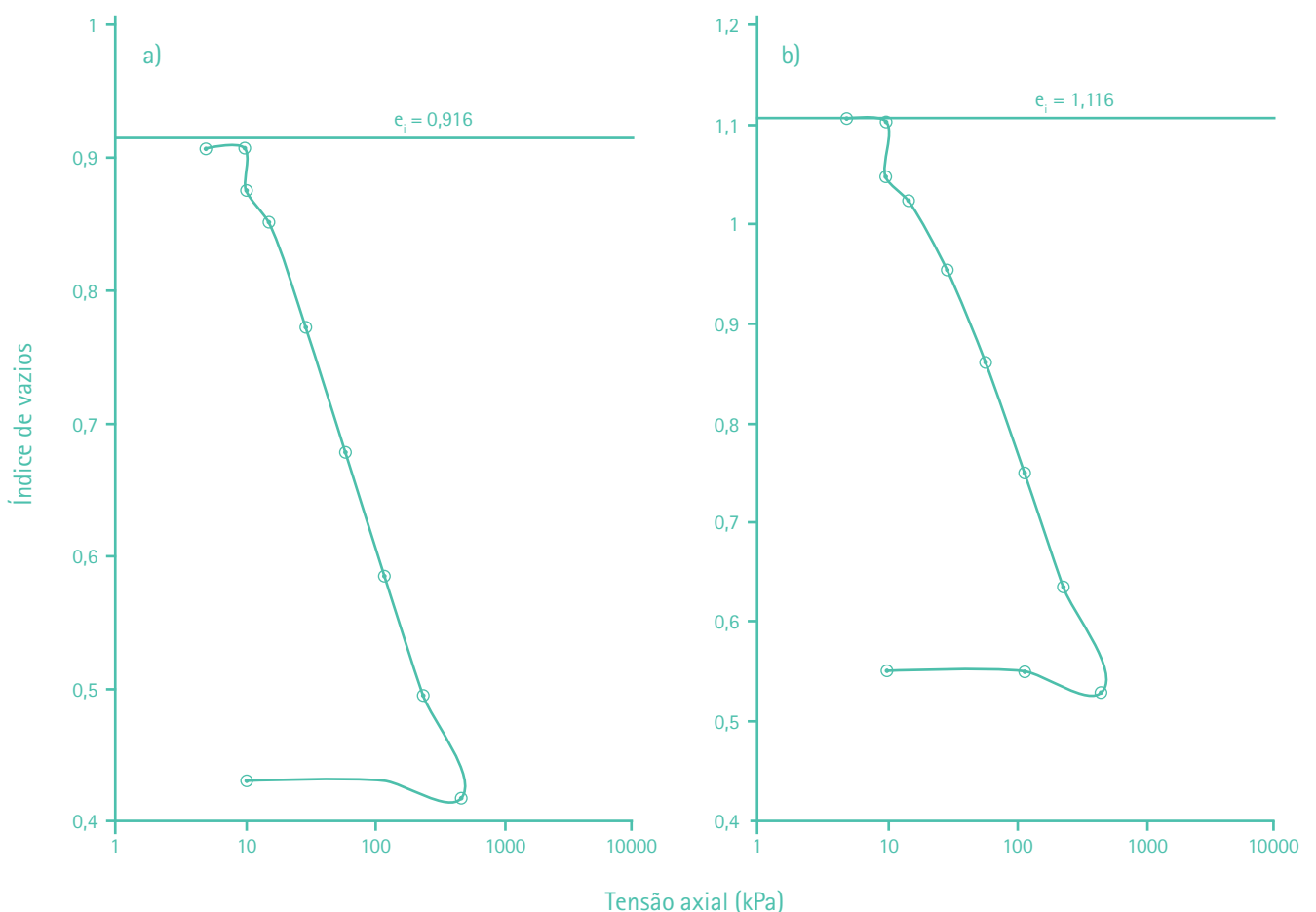
ii. edificações apoiadas sobre radiers de concreto que transferem, diretamente, ao solo superficial todo o carregamento das estruturas. Essa solução de engenharia requer que a camada superficial seja, adequadamente, compactada e que os sistemas de captação e drenagem superficiais sejam eficazes; apresenta bom desempenho quando a resistência do solo cresce com o aumento da profundidade; e

iii. edificações apoiadas sobre elementos de fundação rasos, tais como vigas, brocas e pilaretes. De forma geral, essas edificações apresentam o melhor desempenho, em termos de fundações, pois transferem o carregamento das estruturas para camadas de maior resistência do solo, em pequena

profundidade e não diretamente afetadas pelo fluxo superficial das águas. No entanto, esse tipo de solução fica limitado pela posição do afloramento rochoso e, dada a distribuição errática com que esse surge em subsuperfície, pode resultar em elementos de diferentes dimensões e comportamentos em uma mesma edificação.

Com relação ao tipo de solo onde essas fundações se apoiam, pode-se observar o predomínio de argila arenosa, com pouca porcentagem da fração silte. Em um poço de investigação geotécnica aberto no Terraço Oeste (**Figura 2**), foram coletadas duas amostras indeformadas da camada superficial do solo, as quais, submetidas a ensaios edométricos simples, apontaram a ocorrência de colapso da ordem de 2 % quando inundadas a uma tensão de 10 kPa (**Figura 4**), tensão essa correspondente à média dos carregamentos transmitidos ao solo pelas habitações que predominam no local.

Figura 4 – Ensaio edométrico em amostras indeformadas coletadas no Terraço Oeste. a) amostra coletada entre 1 m e 1,2 m; b) amostra coletada entre 1,9 m e 2,1 m.



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2019, Apêndice D)

O nível d'água na região onde as amostras indeformadas foram coletadas encontra-se, aproximadamente, a 9,15 m de profundidade, portanto, muito abaixo da posição das coletas. Contudo, a profundidade do nível d'água na região do distrito de Jacy-Paraná apresenta certa oscilação ao longo do tempo devido, sobretudo, à infiltração das águas da chuva e à cota do topo rochoso granítico impermeável.

3.3 Patologias em edificações populares

Em campo, geralmente, as feições indicativas predominantes da ocorrência de colapsibilidade dos solos são a inclinação de edificações (recalques diferenciais), desnivelamento acentuado entre as edificações e os terrenos adjacentes, trincas em terrenos, pavimentos e edificações e, também, afundamentos e formação de cavidades. Cabe destacar que algumas dessas patologias também podem ser originadas por deficiências de projeto e de metodologia construtiva sendo, portanto, essencial um estudo abrangente das características construtivas e geológico-geotécnicas do local para a correta identificação das causas das patologias.

Particularmente, no Distrito de Jacy-Paraná, vistorias recentes no âmbito do projeto de pesquisa mencionado apontaram algumas evidências com características típicas de colapsibilidade dos solos, a saber:

- em áreas externas das edificações, verificou-se em algumas unidades a existência de segmentos de muros de divisa em processo de adernamento, resultantes da perda de resistência do solo superficial em decorrência do seu encharcamento. De forma generalizada, também foram observados processos de erosão do solo de base, particularmente, no contato do terreno com as bordas das fundações em radier ou em blocos de alvenaria (**Figura 5**), à vista de não existir impermeabilização da superfície e nem sistemas adequados de captação e drenagem das águas pluviais nos locais;

Figura 5 – Canaletas de drenagem no entorno do radier



Fonte: arquivo IPT

- em áreas internas, há a presença de trincas e fissuras em painéis de alvenaria e afundamentos de pisos (**Figura 6**), indicativas da ocorrência de recalques diferenciais da camada superficial do solo. Outras patologias, como descolamento entre painéis e deslocamentos de pisos também são frequentes, mas estão diretamente associadas à metodologia construtiva e à qualidade dos materiais empregados e não ao colapso dos solos de apoio;

Figura 6 – Abertura de trincas em pisos e alvenarias



Fonte: arquivo IPT

- nas vias de acesso, a maior parte não pavimentada, observa-se intenso processo erosivo e acúmulo de águas pluviais (**Figura 7**). O acúmulo de águas contribui para o encharcamento do solo e, nos locais onde o solo apresenta potencial de colapso, pode representar o gatilho para a ocorrência de recalques abruptos.

Figura 7 – Erosões em vias de acesso às edificações



Fonte: arquivo IPT

Cabe aqui destacar que estudos feitos por Réthati (1961 apud CINTRA, 1998), na Hungria, indicam dados estatísticos que mostram que a infiltração de água é a causa mais frequente de danos em edificações apoiadas em fundações diretas sobre aterros. Segundo o autor, 36 % dos casos estudados tem origem na quebra de tubulações de esgoto; 25 % decorrem das águas pluviais vindas dos telhados e 15 % das águas pluviais. O percentual restante se divide entre vazamentos nas tubulações de águas e entupimentos de redes. A pesquisa desenvolvida no estado de Rondônia parece corroborar com esses resultados: no local não há redes de esgotos e nem sistemas de captação das águas pluviais, sendo notório o efeito maléfico dos vazamentos das fossas, da queda abrupta das águas dos telhados e das infiltrações nos terrenos não pavimentados para a geração e agravamento das patologias presentes nas edificações.

4 Proposição de soluções de engenharia

Na fase de projeto das edificações populares, o primeiro item de atenção refere-se aos dados das sondagens, em particular à data de sua realização, pois o posicionamento do lençol freático e, por conseguinte, as tensões de sucção, variam com o índice pluviométrico local. A execução dos ensaios de campo (prova de carga, por exemplo) pode, quando possível, ser feita com e sem inundação prévia, de forma a refletir os efeitos que um aumento do teor de umidade terá sobre o solo de apoio das edificações.

Conhecidas as características do solo, é preciso atentar para a necessidade de projetos específicos de drenagem das vias de acesso e também dos terrenos (lotes), visando promover a correta captação e destinação das águas pluviais, evitando-se a saturação do solo por infiltração, com a conseqüente perda da parcela de resistência aparente devida à sucção e aumento do teor de umidade do material. Recomenda-se ainda impermeabilizar a área perimetral das edificações, evitando-se infiltrações e carreamento de partículas sólidas sob os elementos de fundação direta.

Medidas de reforço ou melhoria do solo, que minimizem ou eliminem os efeitos do colapso do solo, também se fazem necessárias. Essas medidas variam conforme a estrutura a ser construída, pois impactam nos custos e prazos das obras. Dados da bibliografia referenciada indicam que, ao compactar o solo na energia do Proctor Normal, lhe conferindo uma maior interação entre as partículas, com redução do índice de vazios, há uma minimização no potencial de colapso. O melhoramento do solo por compactação também aumenta sua capacidade de carga, contribuindo para a viabilidade de execução de uma fundação superficial, que é mais econômica que uma fundação profunda e, por isso, geralmente, empregada nas habitações populares.

5 Conclusões

A ocorrência de solos potencialmente colapsíveis está intimamente relacionada aos processos de intemperismo, sobretudo em ambientes tropicais onde os processos de lixiviação são acentuados devido à sazonalidade e aos elevados índices pluviométricos, favorecendo o carreamento de finos, a formação de agregados e o aumento de índices de vazios. Essa problemática ocorre de maneira generalizada nos diversos tipos de solos, tanto nos transportados como nos residuais.

A manifestação da colapsibilidade do solo se dá em decorrência de dois fatores principais:

- i. aumento do teor de umidade; e
- ii. atingimento da carga de colapso.

Para tanto, o correto dimensionamento do projeto de fundações diretas para habitações populares deve ser feito conhecendo-se esses parâmetros do solo, por meio de sondagens diretas e ensaios de campo e de laboratório.

Dentre as medidas de reforço ou melhoria dos solos potencialmente colapsíveis, a literatura especializada elenca: a substituição do solo natural; a pré-inundação; a inundação controlada; a estabilização química e/ou térmica; a execução de colunas de deslocamento e, por fim, a compactação controlada segundo parâmetros técnicos, destacada neste trabalho por sua simplicidade e larga aplicação na construção de habitações populares. A definição do método de reforço ou melhoria deve ser conduzida levando-se em consideração o prazo, a onerosidade e a tipologia das fundações e edificações a serem construídas ou reparadas.

Enfatiza-se, ainda, a necessidade de projetos específicos de drenagem das vias de acesso e, também, dos terrenos (lotes), visando promover a correta captação e destinação das águas pluviais, evitando a saturação do solo por infiltração.

O problema geotécnico de colapsibilidade de solos ocorre, amplamente, no território brasileiro, mas a escassez de ensaios laboratoriais e de campo mascara a amplitude dessa problemática, como por exemplo, na região norte do país, especificamente no estado de Rondônia. Portanto, existe a necessidade de aprofundamento de estudos na região, onde grandes barragens estão implantadas, os índices pluviométricos são elevados e a infraestrutura, ainda, é bastante precária. A divulgação do presente estudo, embora restrito a um distrito e com poucos ensaios laboratoriais, visa fomentar a discussão e estimular a pesquisa do comportamento dos solos regionais de Rondônia, assim como já feito, largamente, nos estados do sul e sudeste do país.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa Santo Antonio Energia – Sustentabilidade, em particular ao Eng. Ricardo Marques, pelo apoio na realização dos trabalhos de campo e laboratório.

7 Referências

ADAMY, A. (Org.). **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2010. 337 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 91 p.

CINTRA, J. C. A. **Fundações em solos colapsíveis**. São Carlos: EESC-USP, 1998. 106 p.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Projeto de fundações em solos colapsíveis**. São Carlos: EESC-USP, 2009. 99 p.

FREITAS, M. C. **Avaliação de técnica de melhoria de solos colapsíveis por meio de colunas de solo laterítico compactado**. 2016. 201 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Avaliação das atuais condições estruturais e de fundações de edificações localizadas no distrito de Jacy-Paraná, Porto Velho-RO**. São Paulo: IPT/CT-Obras, 2019. v. 1 (Relatório Técnico nº 155.534).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Apoio tecnológico para avaliação dos efeitos decorrentes do enchimento do reservatório da Hidrelétrica Santo Antônio sobre o lençol freático no distrito de Jacy-Paraná, Porto Velho, RO**. São Paulo: IPT/CT-Geo, 2018. 212 p. (Relatório Técnico nº 154.613).

OLIVEIRA, C. M. G. **Carta de risco de colapso de solos para a área urbana do município de Ilha Solteira – SP**. 2002. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil Ilha Solteira) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2002.

DOI 10.34033/2526-5830-v3n11-74

