



SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

COLLAPSIBLE SOILS: RISKS AND SOLUTIONS TECHNOLOGICAL

Eliane Patrícia Leal Trevisoli¹, Gerson de Marco², Fabiana Florian³

Submetido em: 15/07/2021

e27535

Aprovado em: 05/08/2021

<https://doi.org/10.47820/recima21.v2i7.535>

RESUMO

Alguns solos podem apresentar variação de volume quando da mudança de umidade, podendo resultar em danos como trincas, fissuras e rupturas nas estruturas da edificação. O objetivo deste estudo foi apresentar os principais riscos em construir fundações em solos colapsíveis e relacionar possíveis soluções tecnológicas. A metodologia do estudo é de revisão bibliográfica, com análise de documentos recuperados em fevereiro de 2021, nas bases de dados *Scielo*, *Scopus* e *Google acadêmico*, e tem como natureza a pesquisa qualitativa. Os resultados comprovam sobre a necessidade de análise do solo antes do início da construção, como forma de buscar soluções que minimizem os danos futuros. Quanto às técnicas para essa correção, a literatura tem apresentado o uso de estacas; o uso de mistura de pó de ferro; a compactação utilizando sonda vibratória, levando a compressão do solo; uso de misturas de polietilenoglicol (PEG) / nanolima; uso de misturas de nanomateriais (nano-silica, nano-argila e nano-carbonato de cálcio); adição de escória granulada e pozolana natural; execução de colunas de solo laterítico compactado, inseridas na camada colapsível; uso de soluções aquosas aglomerantes; e sugestão de medidas estruturais para evitar a ocorrência ou reduzir a magnitude dos processos geológicos, e não estruturais de caráter extensivo, contemplando grandes áreas. Concluímos que a literatura tem apresentado soluções que viabilizam a utilização deste tipo de solo, podendo com a pré análise do solo, garantir a minimização de riscos estruturais às edificações.

PALAVRAS-CHAVE: Solos Colapsíveis. Aspectos estruturais - físicos e químicos. Riscos. Técnicas de correção.

ABSTRACT

Some soils may vary in volume when the humidity changes, and may result in damage such as cracks, fissures and breaks in the building structures. The aim of this study was present the main risks in building foundations in collapsible soils and to relate possible technological solutions. The study methodology is a bibliographic review, with analysis of documents retrieved in February 2021, in the Scielo, Scopus and Academic Google databases, and has the nature of qualitative research. The results prove the need for soil analysis before construction begins, as a way to seek solutions that minimize future damage. As for the techniques for this correction, the literature has shown the use of stakes; the use of an iron powder mixture; compaction using a vibrating probe, leading to soil compaction; use of polyethylene glycol (PEG) / nanolime mixtures; use of mixtures of nanomaterials (nano-silica, nano-clay and calcium nano-carbonate); addition of granulated slag and natural pozzolan; execution of later compacted soil columns, inserted in the collapsible layer; use of aqueous binder solutions; and suggestion of necessary measures to avoid the occurrence or to reduce the magnitude of the geological processes, and not to occur of an extensive nature, covering large areas. We conclude that the literature has presented solutions that enable the use of this type of soil, and with the pre-analysis of the soil, it can guarantee the minimization of risks to buildings.

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Civil na Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP

² Professor Especialista Engenheiro Civil e de Segurança do Trabalho, com relevada experiência em Estrutura de concreto Armado, Alvenaria estrutural e Projetos Hidráulicos e Fundações

³ Doutora em Alimentos e Nutrição pela Universidade Júlio de Mesquita Filho- UNESP/FCFar - Araraquara-SP; Docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara- UNIARA/ Araraquara-SP



KEYWORDS: *Collapsible Soils. Structural - Physical and Chemical Aspects. Risc. Correction techniques.*

INTRODUÇÃO

Na engenharia, os tipos de solos são descritos com base em suas propriedades e características, sendo um desses tipos o solo em colapso (ANWER; SARBAAST, 2019). O solo pode sofrer impacto humano a partir da agricultura, mineração e também decorrente do processo de urbanização, e dentre os problemas em regiões urbanizadas está o colapso dos solos (RODRIGUES; MOLINA JÚNIOR, LOLLO, 2010).

Segundo Rodrigues, Molina Júnior e Lollo (2010, p. 30), solos em colapso são características de deformação formadas por alterações estruturais do solo em “estado de tensões, do equilíbrio eletromagnético e de ataques às ligações cimentíceas”. Rodrigues e Lollo (2008a) afirmam que o colapso do solo é devido a redução do volume do solo e ganho da umidade, com presença ou não de sobrecarga, podendo se manifestar com o aumento de teor de umidade nos vazios do solo e tensões que excedem o valor limite.

O ganho de umidade, pode ser provocado por vazamentos de tanques de combustíveis, efluentes químicos e tubulações de esgoto doméstico e industrial (RODRIGUES; LOLLO, 2008b).

Algumas características predis põem esse fenômeno, sendo eles: estrutura porosa (altos índices de vazios), grau de saturação menor que o necessário requerido para sua completa saturação, e estrutura metaestável (RODRIGUES; MOLINA JÚNIOR, LOLLO, 2010). Complementando, Anwer e Sarbaast (2019) apresentam como ingredientes internos deste tipo de solo a presença de iodo, sal e argila, que formam ligações entre eles.

Entretanto, estas não são as únicas condições para o comportamento colapsível de alguns solos. Estudos realizados por Agnelli (1997) demonstraram que a intensidade do colapso em alguns solos tropicais pode variar em função de características químicas do fluido de inundações. Os achados de Collares (2002) evidenciaram que a ocorrência do colapso está condicionada a existência de uma estrutura com elevada porosidade associada ao equilíbrio metaestável entre as partículas, decorrente da presença de um vínculo capaz de conferir uma resistência temporária ao solo. No trabalho de Rodrigues, Molina Júnior e Lollo (2010, p. 30) ressalta-se que este tipo de solo possui “[...] estruturas formadas por grãos de areia e argilas em estado agregado ou disperso, carbonatos, óxidos de ferro e alumínio, constituindo elementos cimentantes entre partículas de maior granulometria.”

Em se tratando da construção civil, devido a facilidade de deformação do solo colapsível, em consequência da carga de compressão aplicada e a umidade, as estruturas e a própria fundação apoiada nesse solo sofrem um recalque, provocando um desnivelamento brusco estrutural em função



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

da deformabilidade do solo colapsível, causando um esforço não previsto, ocasionando trincas, rachaduras e em casos mais severos, a condenação parcial ou a ruína total estrutural (NÁPOLES NETO, 1998).

Ainda assim, conforme Anwer e Sarbast (2019), é um solo forte, pesado e cheio de ingredientes, que pode ser uma boa base para edifícios, no entanto, requer considerar alguns pontos importantes como a densidade, a proporção da água sob o solo e o valor ou medição da proporção da pressão.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é apresentar os principais riscos em construir fundações em solos colapsíveis e possíveis soluções tecnológicas. Como objetivos específicos, tem-se a proposta de verificar na literatura a evolução de técnicas relacionadas ao tema que os estudos de engenharia civil vêm apresentando, e pontuar os riscos existentes em construções levantadas áreas de solos colapsíveis.

O estudo se justifica mediante a necessidade de realizar ensaios de averiguação geológica antes de iniciar uma construção, forma de se evitar futuras patologias e problemas estruturais devido ao possível recalque diferencial do solo. Neste contexto, Day (2011), afirma que o estudo das características patológicas da engenharia estrutural geotécnica forense é extremamente fundamental na sociedade, na qual a vitalidade das edificações e seu estado de segurança é imprescindível, mediante a possibilidade de surgimento de patologias estruturais, sendo que um sinal de uma possível deformabilidade do solo, pode ser prevista em uma análise geológica do solo em questão.

Quanto aos problemas e hipóteses de pesquisa, a ausência de análise geotécnica, para melhor se identificar o solo, causa riscos inerentes às construções, à vida útil das fundações e conseqüentemente às pessoas que utilizam as mesmas. De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid (2015) a fundação é vulnerável aos recalques devido à transição de cargas da estrutura para o solo, requerendo um prévio conhecimento das características do solo e seus riscos antes do início da construção. Em relação ao projeto, pode-se também eliminar futuras patologias estruturais realizando a escolha adequada ao tipo de fundação, capacidade de carga do solo, tratamento do solo de fundação e precauções construtivas.

Neste contexto, para Milititsky, Consoli e Schnaid (2015) conhecer as possibilidades de problemas permite ações qualificadas “[...] dos diferentes atores intervenientes na vida das fundações, desde profissionais participantes das etapas de investigação, projeto, contratação, fornecimento de materiais, execução e fiscalização do trabalho,” abarcando os demais envolvidos em atividades de pós-construção, valendo-se da boa prática, das normas vigente, de empresas qualificadas, e conseqüentemente, evitando prejuízos e problemas.

Atendendo a esta demanda, diversos estudos no meio acadêmico foram e estão sendo desenvolvidos, desde ensaios em laboratório como ensaio de campo, demonstrando um grande avanço tecnológico sobre o assunto, com novas técnicas, ensaios e procedimentos de projeto de edificações e de reforço de fundação.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

Para atender o proposto neste estudo, o procedimento metodológico utilizado é a aplicação do método de revisão bibliográfica com base em artigos publicados em bases de dados (*Google Acadêmico*, e *Scopus*) e livros sobre o tema. Quanto aos fins da pesquisa, trata-se de estudo exploratório e quanto a natureza, é qualitativa. Segundo entendimento de Cervo e Bervian (2002), os estudos exploratórios auxiliam na definição de objetivos e na busca de informações sobre o tema. Da mesma forma que o conhecimento científico, a pesquisa exploratória tem por finalidade evidenciar as relações existentes entre os elementos que a compõem. Esta pesquisa teve, ainda, característica a abordagem qualitativa, pois o pesquisador não exerce influência sobre a pesquisa, tendo somente o papel de levantar, observar, registrar e analisar os dados (GIL, 2010). Assim, o universo dessa pesquisa compreende explorar as causas e princípios ligados à patologia de estruturas devido ao recalque em fundações sob solos colapsíveis, verificando seus riscos e possíveis soluções tecnológicas.

Para atingir o proposto, o estudo está dividido em quatro seções, sendo a primeira esta introdução, que busca localizar o leitor sobre o problema da construção em solo colapsível e da necessidade de prévio estudo deste solo, além de trazer o objetivo e metodologia e o problema da pesquisa. Na segunda seção, apresenta-se o referencial teórico do estudo, abarcando as características, riscos e soluções tecnológicas dos solos colapsíveis, buscando, com base nos estudos registrados na literatura, descrever o tema, e dando base para a terceira seção, as considerações finais. Por fim, traz as referências que deram subsídios para a construção do artigo.

1 SOLOS COLAPSÍVEIS

Características, riscos e soluções tecnológicas

Segundo descreve Mattos (2010), a atividade exercida na engenharia civil envolve diversas variáveis, e o ambiente na qual é desenvolvida é particularmente dinâmico e mutável, tornando o gerenciamento de uma obra um trabalho complexo. As construções são edificações que dão suporte físico para realizações de atividade produtivas, levando-as a terem um valor social fundamental (FRANCO, NIEDERMEYER, 2017), e são projetadas para resistir a agentes ambientais e de uso, que venham a alterar suas propriedades técnicas iniciais, especificadas conforme NBR 5624/ 2012 - Manutenção de edificações – Procedimento.

No entanto, os diversos elementos que compõem as edificações estão sujeitos às manifestações patológicas que podem ocorrer das mais variadas formas, e devem ser corrigidas logo no início para não comprometer a vida útil da edificação (FERREIRA; OLIVEIRA, 2021), tendo em vista, conforme afirma Taguchi (2010), que as mesmas além de ocasionarem redução de sua vida útil, estão diretamente ligadas com o desempenho dos materiais ou componentes usados para a edificação.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

Dentre as causas de manifestações patológicas estão as falhas da execução da construção, falha da interação do meio ambiente (chuva, sol, vento, calor, frio), falta de manutenção e da falta de estudos adequados do solo (EDUARDO; SANTOS, NOBREGA, 2017). O planejamento de uma obra proporciona alto grau de conhecimento do empreendimento, permitindo mais eficiência na condução dos trabalhos (MATTOS, 2010).

Caputo (2011) ressalva que é no planejamento de um programa de investigações geotécnicas que se considera não só as características do terreno - natureza, propriedades, sucessão e disposição das camadas e presença do nível de água - como o tipo da estrutura: grande ou pequena, pesada ou leve e rígida ou flexível.

Hamzeh, Ballard e Tommelein (2012) afirmaram que as deficiências nesta etapa podem causar baixa produtividade do setor, elevadas perdas e baixa qualidade nos resultados. Portanto, o planejamento tem como função prever e adotar medidas (melhorar a produtividade, reduzir atrasos, apresentar a melhor sequência de produção, balancear a necessidade de mão de obra para o trabalho a ser produzido e coordenar múltiplas atividades interdependentes) que levem a evitar recalques prejudiciais ou mesmo ruptura do terreno levando aos colapsos da obra, é preciso alcançar a maior estabilidade, envolvendo menor custo, e promovendo a proteção de obras vizinhas.

Assim, dentre as checagens quando de uma obra, tem-se a necessidade de verificar a resistência ao cisalhamento de um solo, que é definida por quanto ele pode tolerar de carregamento antes de sofrer ruptura. Caputo (2011) ressalva que a capacidade de suporte do solo, é a força, que ao aplicada no solo causa seu colapso, e nesta aplica-se um coeficiente de segurança, de ordem de 2 a 3, obtendo-se a tensão admissível, que garantirá que o solo suportará a carga sobre ele, e suas deformações, sem que haja colapso.

Os solos apresentam características diferenciadas, resultado de seu processo de formação, podendo ser classificados quanto a sua origem: solos residuais, solos transportados, solos orgânicos e solos de evolução pedogenética. Do ponto de vista da Engenharia, diante da importância do solo e de seu comportamento, tendo em vista influenciar nas construções, diversas classificações surgiram, justamente por conta do contexto da própria área (LOLLO, 2008).

Quando ocorre um aumento de quantidade de água no solo, seja por preenchimento em seus vazios ou sobrecargas (RODRIGUES; MOLINA JÚNIOR; LOLLO, 2010) levando a redução do volume, ou variação do índice e vazios, esse fenômeno é atribuído a um colapso da estrutura do solo, recebendo a denominação de subsidência, hidrocompactação e hidroconsolidação ou solos colapsíveis (COLLARES, 2002).

Segundo descrevem Naime *et al.* (1997, p. 1) este tipo de solo é formado por “grãos não lixiviados, separados por espaços vazios, com as menores distâncias entre os grãos sendo normalmente preenchidas por pontes de argila floculada, que frequentemente incluem pequenas partículas não lixiviadas. ” Ou seja, são “[...] designados de verdadeiramente colapsíveis quando experimentam o fenômeno de redução de volume por umedecimento sob peso próprio e condicionalmente colapsíveis quando a redução de volume se processa sob a ação de uma



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

sobrecarga adicional. ” (VILAR; FERREIRA, 2015, p. 415). Segundo Margoto e Aparecido Junior (2016), esses vazios podem causar diferenciação, fazendo com que a estrutura da construção fique mais baixa, levando ao aparecimento de trincas e rachadura, e desmoronamentos.

Segundo explica Lollo (2012) materiais colapsíveis podem ser encontrados nos solos de diversos países, no Brasil predominam em regiões de clima quente, cobrindo as regiões Centro-Sul e Nordeste do país, compostos por aterros mal compactados, depósitos aluviais, coluviais e solos residuais muito lixiviados. Em função de diversidade de tipos e de origem deste solo, a textura também é diversificada, apresentando-se conforme o conjunto de processos responsável pela sua origem, assim, os materiais colapsíveis, resultado de sedimentos de origem eólica e fluvial, têm textura predominantemente arenosa, os de perfis residuais apresentam textura controlada pela rocha matriz originária e pela intensidade dos processos intempéricos a que esteve sujeito.

Diferentes pesquisadores, estudando as diferentes regiões do Brasil, tornaram possível o mapeamento das regiões brasileiras, e relacionaram os tipos de solo de cada uma. A figura 1, apresenta as regiões com solos colapsíveis estudados no Brasil.

FIGURA 1 – Regiões brasileiras – solos colapsíveis



Fonte: Modificado de Ferreira *et al.* (1989) por Rodrigues e Lollo (2008c, p. 60).

Segundo Cerri (2001 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008) as áreas afetadas são bastante expressivas nos estados de Pernambuco e São Paulo, e os danos dependem das dimensões do processo que ocasionou o umedecimento do solo, ou seja: maiores áreas afetadas em caso de chuvas e menos em casos de vazamentos.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

Conforme pesquisa na Embrapa, efetuada por Naime *et al.* (1997), a carga submetida ao aumento de água leva a infiltração a decompor os cimentos naturais ou as pontes de argila, reduzindo a coesão ente os grãos, causando o colapso que pode atingir um metro de profundidade, sendo que conhecer os mecanismos que levaram a compressão do solo e da variação de tensões impostas de determinada região, possibilita aplicar técnicas construtivas e prever o comportamento do recalque das edificações.

Segundo Vilar e Ferreira (2015) solos colapsíveis são solos não saturados, têm estrutura porosa ou instável (compostos por partículas interligadas por argila, óxido de ferro, alumínio ou carbonatos); têm origem recente e de fácil drenagem de regiões tropicais úmidas com lixiviação dos horizontes superficiais; estão presente em regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação, regiões de alternância de estações secas e chuvas intensas e concentradas, e podem ocorrer em qualquer tipo de solo, inclusive no mal compactado, não saturado e de baixa densidade. Por conta destas características são conceituados como uma deformação dependente da metaestabilidade estrutural da solo frente as alterações no estado de tensões, do equilíbrio eletromagnético e de ataques sobre as ligações cimentíceas dos solos (RODRIGUES; MOLINA JÚNIOR; LOLLO, 2010).

Os solos em colapso apresentam comportamentos que podem variar dependendo de sua constituição. Sultan (1971 *apud* RODRIGUES; LOLLO, 2008) relaciona alguns desses comportamentos, que levam o solo a sofrer o colapso:

- aumento do grau de saturação por umedecimento, tanto superficialmente quanto para fundações mais profundas;
- rebaixamento do nível de água do subsolo, levando ao rebaixamento do lençol freático, ocasionando tensões;
- após saturados ou de aplicação de cargas externas (presença de argilominerais);
- solos loéssicos com aumento das cargas aplicadas;
- areias de origem eólica.

Sendo que, conforme o autor, há recuperação de volume de alguns solos com o tempo, quando do colapso, e outros tem mostrado recuperação de parcela de volume perdido ao longo do tempo, mesmo com a carga que provocou o colapso (SULTAN, 1971 *apud* RODRIGUES; LOLLO, 2008).

Quanto aos critérios para identificação deste tipo de solo, podem ser: regionais, baseados em limite de consistência ou em condições de compacidade do solo natural. Os critérios disponíveis para a identificação de solos colapsíveis seguem, basicamente, algumas orientações: critérios “regionais” desenvolvidos para determinadas ocorrências de solos ou regiões, a partir de conceitos empíricos ou de determinados testes rápidos; critérios baseados nos limites de consistência ou nas condições de compacidade do solo natural.

Também são empregados ensaios edométricos simples e duplos ou ensaios in situ, como o expanso-colapsômetro, equipamento próprio para essa finalidade, buscando indicar compacidade do



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

solo, via índice de vazios ou umidade de saturação (GIBBS; BARA, 1962), e no Brasil utiliza-se os critérios expostos por Mello (1975) especificando solo com grau de compactação natural obtida no ensaio de Proctor Normal, quando massa específica seca in situ e a massa específica seca máxima inferior a 80%.

Rodrigues e Lollo (2008) pontuaram que nas últimas décadas alguns critérios e ensaios foram desenvolvidos para estudar os solos colapsíveis, com diferente enfoque em diversas grandezas. Ressalva-se que as classificações existentes apresentam limitações, tendo em vista os sistemas empregados para essa classificação apresentar o mesmo parâmetro, não diferenciando o uso deste solo quanto a sua utilização, ou seja, deve-se levar em conta o uso que se fará do solo, tendo em vista as diferentes solicitações, se para fins rodoviários, ou fundações. Apesar da não existência de um sistema ideal para classificação do solo, por conta das limitações, os resultados permitem compreender preliminarmente o comportamento do solo em questão, e planejar os parâmetros necessários dentro do projeto (LOLLO, 2008).

Dentre os principais tipos de classificação de solo tem-se: por tipo, genética geral, textural (granulométrica); unificada e o sistema proposto pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), e para atender as exigências do solo brasileiro, a Classificação MCT foi desenvolvida na década de 70, apresentada oficialmente em 1980. Os solos também podem ser descritos / classificados por meio de ensaios rápidos, utilizando-se uma análise tátil-visual (LOLLO, 2008).

Para Lollo e Rodrigues (2008) há métodos que se baseiam na avaliação de índices físicos e limites de consistência através de ensaios de caracterização (Critério de DENISOV; Critério de PRIKLONSKIJ; Código de Construção da União Soviética; Critério de FEDA; Critério de GIBBS & BARA), enquanto outros estão baseados em ensaios específicos de compressibilidade e resistência, sendo que os de aplicação dos ensaios e dos critérios de campo busca a estimativa do colapso em escala real.

Solos apresentando baixa resistência e penetração, baixa capacidade de carga e elevada compressibilidade, alta permeabilidade sob baixas carga verticais, são suscetíveis a ocorrência do colapso, podendo gerar recalques em construções civis, e pequenos danos como aparecimento de trincas em paredes e pisos, emperramento de janelas e portas) ou ainda ocasionar danos maiores afetando elementos estruturais e instalações ou até causar a ruína parcial ou total de elementos de alvenaria (FRANCO; NIEDERMEYER, 2017).

Conhecer esses critérios são importantes na medida em que possibilitam adoção de melhores adequações das obras na realidade ambiental em que pode ocorrer o colapso, podendo então partir para avaliar os riscos, que por sua vez fornecerão os dados necessários para priorizar as ações a serem tomadas (LOLLO, OLIVEIRA, 2008).

Reconhecer os processos de colapso de solos e das condições que os potencializam possibilita ações de adequação da realidade em questão, além de possibilitar avaliar os riscos. Os riscos geotécnicos, corresponde a “processos de natureza geológica (escorregamentos, erosão e



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

assoreamento, subsidências e colapsos de solos, terremotos, atividades vulcânicas, tsunamis), principalmente quando estes processos interagem diretamente com algum tipo de obra de engenharia civil.” (LOLLO; OLIVEIRA, 2008, p. 218).

Segundo apresenta Souza (2018, p. 175), totalizam em três os projetos que podem comprometer a segurança de uma edificação: “ruptura do solo; deformações excessivas do solo; e ruptura do material constituinte da fundação.”

Quanto à forma de decodificar os riscos, essas podem ser por letras caracterizando-o com alto, médio ou baixo (CASTRO *et al.*, 1992, *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008); através de diferentes texturas AUGUSTO FILHO *et al.*, 1992 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008); por meio de cores quando da representação cartográfica (GARRY; DECAILLOT, 1987 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008); estabelecendo graus intermediários - muito alto, médio e muito baixo (LOLLO; OLIVEIRA, 2008); como graus de risco geológico: Análise Relativa e Análise Probabilística (AUGUSTO FILHO, 2001 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008); e por abordagem: Análise Qualitativa, e Análise Quantitativa (CARVALHO, 1996 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008).

Esses dados ou instrumentos são inseridos na Carta de Risco Geológico, que por sua vez visam a definição de medidas de prevenção de acidentes (CERRI; AMARAL, 1998 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008), contém os resultados de identificação, análise dos riscos e textos explicativos esclarecendo prioridades de intervenção, e traz definição do objetivo do trabalho, a escala e o grau de precisão dos resultados. Essa distribuição pode ser como: Carta de Cadastramento de Risco ou Carta de Zoneamento de Risco (CERRI; AMARAL, 1998 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008).

De forma geral, os riscos de construção em solo colapsíveis vão desde pequenos a irremediáveis problemas, e segundo Velloso e Lopes (2011), encontram-se distribuídos em três grupos, que compreendem danos estruturais, arquitetônicos e funcionais.

- Os danos estruturais correspondem a danos causados a estrutura como pilares, vigas e lajes, que por sua vez comprometem os elementos da construção e alteram a vida útil e desempenho da edificação;

- Os danos arquitetônicos são os relativos a estética da edificação, formados por fissuras, trincas em parede e acabamentos, ruptura de painéis de vidro, mármore e desaprumos no prédio, entre outros, ou seja, causam desconforto visual;

- Os danos funcionais correspondem aos que apesar de ainda não serem estruturais, dificultam a utilização da edificação, como por exemplo, emperramento de portas e janelas, desaprumo levando a inversão de inclinações de instalações sanitárias causando ruptura de esgotos e galerias, e desgaste excessivo de elevadores, dentre outros.

De acordo com Franco e Niedermeyer (2017) esses eventos ou patologias podem ocorrer logo após o término da obra ou até cinco anos depois. A figura 2 expõe algumas das patologias decorrentes de construções em solos colapsíveis.

FIGURA 2 – Patologias decorrentes de construções em solos colapsíveis



Fonte: Segantini (2018, p. 121-124). (a) Formação típica de trincas por recalques de fundação; (b) Rachadura em alvenaria provocada por recalque do solo abaixo da edificação (Fotografia de Roger Augusto Rodrigues); (c) Trinca em parede de alvenaria estrutural com padrão escalonado (Fotografia de Cíntia Magda Gabriel de Oliveira); (d) Trinca em parede de alvenaria de tijolos maciços (Fotografia de Roger Augusto Rodrigues); (e) Trinca em laje de concreto (Fotografia de Antônio Anderson da Silva Segantini e Rogério de Oliveira Rodrigues); (f) Trinca em elemento estrutural de pequena edificação devida a processo de colapso de solo (Fotografia de Roger Augusto Rodrigues).

Lollo (2012) ressalva sobre a necessidade de as fundações, tanto profundas quanto superficiais, terem resistência para suportar o carregamento dos elementos de fundação, e quando projetadas corretamente o elemento estrutural de fundação não sofre dano, podendo ocorrer apenas o deslocamento, vindo a ocasionar outros danos na edificação (alvenarias, lajes e coberturas). Segundo autor, esses danos no elemento estrutural, quando do deslocamento muito acentuado, resulta em tensões, como flexão composta e torção, e nas alvenarias podem ser estruturais ou apenas de vedação.

Conforme Segantini (2008), quando se trata de obras de pequeno porte, a estrutura é apenas por cintas de amarração e por isso as consequências são mais visíveis, tendo em vista estes elementos serem dimensionados de forma empírica, com base na experiência dos trabalhadores da construção (mestres de obra e pedreiros) decorrendo em prejuízos na função estrutural da edificação. Nas obras de maior porte pode ocasionar riscos de segurança, envolvendo usuários dos imóveis, chegando a necessidade de interdição para execução de reparos. Conforme Lollo (2008) o impacto direto diz respeito a perdas econômicas, e tais perdas envolvem custos relativos à recuperação da obra. O impacto pode ser indireto, e neste caso levar a desvalorização do imóvel, podendo chegar, em caso de conjuntos habitacional a prejuízos maiores.



Para Carvalho (1996 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008), os riscos podem ser reduzidos por meio de intervenções de caráter geral, envolvendo um conjunto de setores de risco, ou seja, ações informativas e educativas e planos preventivos.

Técnicas para tratamento de solos colapsíveis

Problemas de projeto e problemas pós-construção são as categorias básicas que abarcam os problemas em fundações construídas em solos colapsíveis, e em ambas ocorrências o solo em que foram edificadas é a maior preocupação, tendo em vista os maiores cuidados requeridos por conta da redução de resistência (de 40% a 80%) e da capacidade de carga no solo umedecido (RODRIGUES; LOLLO, 2008c).

Na primeira categoria, ou seja, quando se trata de projetos, esses devem atender alguns requisitos: “escolha adequada do tipo de fundação; capacidade de carga do solo; tratamento do solo de fundação; e precauções construtivas.” (SOUZA, 2008, p. 197). Quanto a escolha da fundação, essa deve seguir critérios técnicos, e levando em questão o fator econômico, as soluções mais adequadas são a utilização de estacas de concreto, moldadas in loco (preocupação com o solo) ou de deslocamento (nas estacas cravadas a preocupação são com as próprias estacas).

A utilização por fundação direta em sapata ou radier são as menos indicadas em função de apoiar-se sobre o solo colapsível, implicando no tratamento do solo de fundação, elevando o custo final. Quando em fundações em estacas, requer-se considerar a determinação da carga de ruptura e a capacidade de carga por atrito lateral na ruptura, tendo em vista quando esta parcela se esgotar em função do colapso do solo, pode a carga ser transmitida abruptamente para a ponta da estaca, e se essa não resistir pode levar a recalque excessivo da estaca.

Quando de estacas de concreto moldadas in situ: “Caso a perfuração de seu fuste tenha sido feita com perfuratrizes manuais ou mecânicas, o lançamento de brita ou de concreto pouco plástico, seguido de seu apiloamento, confere a estas estacas um considerável aumento da resistência de ponta, mesmo quando do umedecimento do solo de fundação.” (SOUZA, 2008, p. 1999). Quando de estacas cravadas, os cuidados devem ser quanto ao comprimento dos elementos que as compõe, tendo em vista sua extensão exercer influência na passibilidade de sofrer flambagem, requerendo processo de alargamento do fuste, ocasionando comprometimento do contato solo-estaca (drapejamento), diminuindo o atrito entre os dois, levando a redução da parcela de atrito lateral da estaca. Conforme sugere Souza (2008, p. 1999) “[...] utilizar elementos médios ou curtos, em último caso, quando os elementos forem longos, aconselha-se a colocar ao redor da estaca em cravação um volume considerável de areia, na tentativa de preencher o possível espaço vazio que se formará entre a estaca e o fuste.

Porém, se a fundação for direta em sapata ou radier, o autor sugere tratar o solo retirando profundidade da cota de apoio da fundação, sendo que a profundidade indicada é igual à largura da sapata (acima de 60 cm), molhagem do fundo da cava, lançamento do solo escavado natural ou



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

ainda adição de material (aglomerante ou estabilizante granulométrico), em camadas com alturas máximas de 20 cm compactadas. Souza (2008) trata da eficácia deste procedimento na redução dos efeitos danosos da colapsibilidade, por meio do uso de estacas mega, quando de edificações de pequeno e médio porte, podendo ser empregadas estacas de concreto moldadas *in situ*.

Crestana *et al.* (1996 *apud* NAIME, 1997) utilizam a técnica de tomografia computadorizada para quantificar a redução de vazios provocada pelo colapso do solo, empregando um tomógrafo portátil de campo desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos-SP.

Ferreira, Peres e Benvenuto (1990 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008) demonstram, utilizando testes de campo com provas de carga e ensaios penetrométricos, que a capacidade de carga de solos colapsíveis reduz a aproximadamente sua metade quando saturados, e como solução sugerem a construção de fundações que atinjam uma camada diferente do solo, ou ainda, correção através de uma alteração física no solo para que deixe de possuir esses vazios.

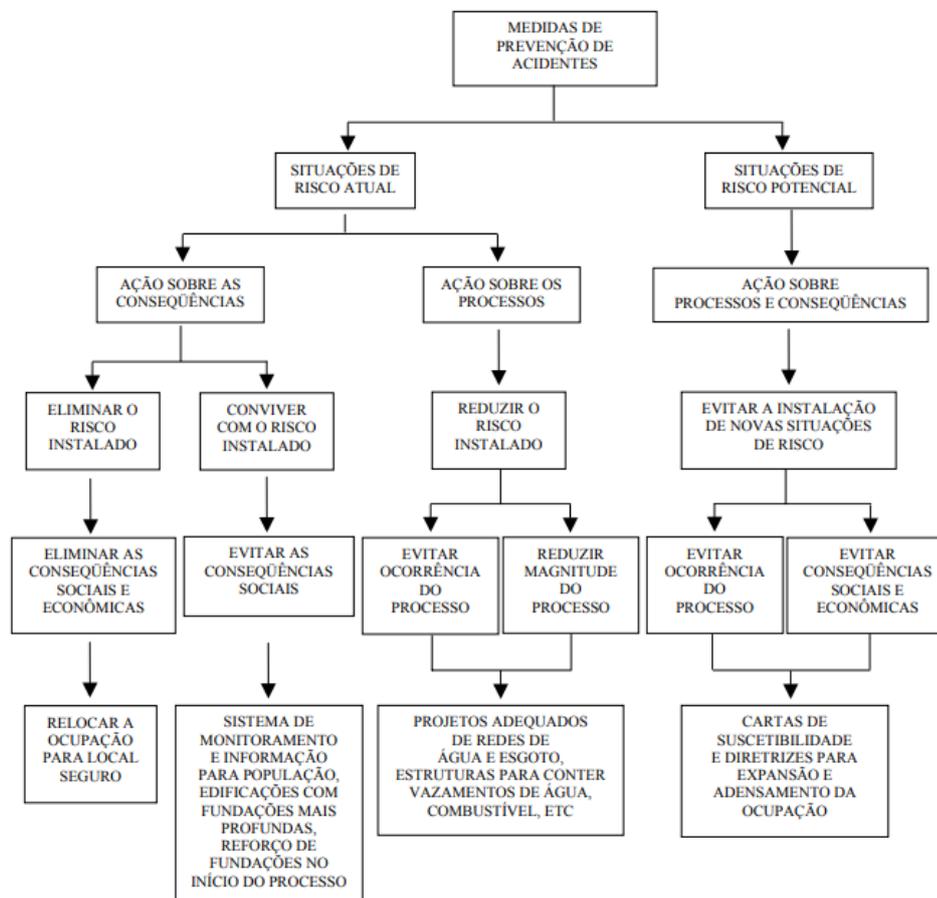
Rollins e Rogers (1994) sugerem a técnica de pré inundação, que consiste em umedecer o solo, tendo em vista afirmarem que vários estudos têm levado à conclusão que os recalques de colapso, quando o grau de saturação alcança valores da ordem de 60-70%, o colapso é equivalente ao que ocorreria no caso do solo saturado. O método permite minimizar o colapso do solo, no entanto, pode não ser suficiente para prevenir futuros recalques da fundação, uma vez que o colapso pode ter sido causado por uma pressão inferior a sobrecarga que será inserida. Assim, a carga adicional imposta pela fundação não é compensada, podendo ocorrer recalques adicionais após a construção da obra.

Al Rawas (2000) sugere como técnica para estabilização, quando a camada de solo colapsível envolvida ocorre em pequenas profundidades, a escavação do solo até a profundidade requerida e remoção desta camada, podendo o solo removido ser reutilizado de forma compactada como solo de fundação. Sendo que, a compactação do solo substituído deve atingir um grau de compactação entre 95 e 100% (AASHTO), e deve sempre ser compactado com umidade 2% inferior à sua umidade ótima (JENNINGS; KNIGHT, 1975 *apud* AL RAWAS, 2000).

Cerri (2001 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008), traz que para cada processo geológico há um roteiro com alternativas tecnológicas de prevenção de acidentes, considerando as particularidades de cada processo geológico, conforme expõe na Figura 3, associando ao colapso de solos.



FIGURA 3 – Medidas de prevenção de acidentes associados a colapsibilidade dos solos



Fonte: Cerri (2001 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008, p. 226).

Conforme figura 3, Cerri (2001 *apud* LOLLO; OLIVEIRA, 2008) estabelece medidas estruturais (evitar a ocorrência ou reduzir a magnitude dos processos geológicos), e não estruturais (de caráter extensivo, contemplando grandes áreas).

A empresa Soft Soil Group (2015) descreve que quanto mais denso um solo, menor será sua variação de volume durante processos de saturação, e que uma densidade desejável pode ser obtida utilizando-se teor de umidade ótimo e quantidade correta de energia de compactação, para o caso da construção de aterros. Tendo em vista que um solo compactado, no lado seco da curva de compactação, pode produzir uma estrutura colapsível, seja devido ao baixo teor de umidade, seja pelos baixos pesos específicos presentes. Sendo que o colapso apenas ocorre subsequentemente à saturação e, em geral, submetida a carregamento, podendo ocorrer pois, muitos anos após a construção, a empresa apresenta como solução a técnica de *grouting*, sendo utilizada em diversos países. A estratégia é o uso de soluções aquosas aglomerantes, que impermeabilizam, via saturação, criando uma barreira e impedindo que a água chegue à matriz argilosa, neutralizando o processo expansivo, e com soluções aquosas iônicas, modificando quimicamente a natureza das



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

ligações da argila com água para o mesmo fim. Esta solução de tratamento de solos colapsíveis é com *Compaction Grouting*, tensionando-se novamente o solo, restituindo-se as características tensão-deformação, geralmente elevando-as a patamares superiores.

Freitas (2016) sugere uma técnica de reforço de solo, buscando viabilizar o uso de fundações diretas, controlando e reduzindo o recalque devido o colapso. A Técnica consiste na execução de colunas de solo laterítico compactado, inseridas na camada colapsível, sendo que o processo de compactação das colunas provoca a densificação do solo ao seu entorno, e conseqüentemente reduz a compressibilidade da massa de solo reforçado. Foram realizados ensaios com e sem a inundação do terreno, verificando o efeito da inundação no comportamento do solo reforçado, tornando possível avaliar o ganho de capacidade de carga e a redução dos recalques, com isso constatou-se a eficiência do método na redução do recalque e no aumento da capacidade de carga, além de observar um aumento da capacidade de carga de quatro vezes em consequência da instalação do reforço.

AlShaba, Abdelaziz e Ragheb (2018) descreveram uma técnica para tratamento de solos colapsíveis utilizando mistura a seco com pó de ferro em uma porcentagem especificada proporcional ao peso. O programa de testes experimentais foi realizado em solos colapsíveis com e sem adição de pó de ferro. A análise dos resultados mostrou o efeito do peso unitário inicial do solo e da porcentagem dos aditivos relacionados ao peso sobre o potencial de colapso (CP), e concluíram que os resultados obtidos foram positivos na utilização do pó de ferro no tratamento de solos colapsíveis e conseqüentemente na redução do recalque de colapso esperado.

Ziani *et al.* (2019) fizeram testes para examinar o efeito da adição de escória granulada e pozolana natural, em diferentes teores, na sucção e no potencial de colapso de um solo reconstituído em laboratório, e com comportamento semelhante aos solos naturais. Os resultados obtidos mostraram claramente que solos colapsíveis tratados com escória granulada e pozolana natural levam a uma redução significativa do potencial de colapso, seguido de uma diminuição da sucção.

Haeri, Valishzadeh (2021) propõem como técnica para tratamento de solos em colapso a estabilização do solo. Efetuaram testes em laboratório para estudar o efeito de três tipos de nanomateriais, incluindo nano-sílica (NS), nano-argila (NC) e nano-carbonato de cálcio (NCC). Os resultados ilustraram que uma quantidade insignificante de nanomateriais (menos de 1% do peso seco total do solo quando é usado como uma solução preparada líquida) pode melhorar consideravelmente o comportamento mecânico do solo (UCS). No geral, os valores de aditivos que deram a resistência máxima à compressão não confinada foram determinados como sendo 0,1, 0,2 e 0,4% do peso seco total do solo, respectivamente, para NS, NCC e NC. A melhoria mais eficiente foi a amostra estabilizada com 0,2% de NCC que resultou no maior UCS após 28 dias de cura. Assim, constaram que a estabilização com esses nanomateriais pode melhorar parcialmente o potencial de colapso do material testado do solo.

Gao *et al.* (2020) utilizaram o método de compactação de sonda vibratória para tratar solo em colapso. Fizeram análise espectral dos testes de ondas de superfície antes e depois do tratamento, e



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

os resultados do teste indicaram que o coeficiente de colapsibilidade médio inicial de 0,0185 de amostras em diferentes profundidades foram reduzidas para 0,003 após a compactação da sonda vibratória em pontos espaçados de 1,2 a 1,4 m. As propriedades de engenharia foram efetivamente melhoradas e a velocidade de onda da superfície do subsolo no tratamento profundidade aumentada em cerca de 15% ~ 36% em comparação com 140 m/s antes do tratamento, resultando em um solo mais denso. O efeito da compactação, em termos de coeficiente de colapsibilidade e densidade no espaçamento de 1,2 m, foi mais pronunciado do que no espaçamento de 1,4 m. O método de compactação da sonda vibratória foi bem-sucedido para o tratamento.

Zimbarido *et al.* (2020) apresentam os resultados de um estudo experimental sobre os efeitos do tratamento com misturas de polietilenoglicol (PEG) / nanolima no comportamento de solo em colapso. Em um estudo anterior, o uso de PEG puro ofereceu uma boa melhoria na estabilidade do solo, mas o efeito de estabilização durou apenas um tempo limitado. Para investigar o potencial de estabilização de sistemas PEG / nanolima, diferentes misturas foram preparadas em proporções crescentes de peso de nanolima. A adequação do solo estabilizado foi examinada com base em testes de colapsibilidade, edômetro, cisalhamento e permeabilidade ao vapor de água, e através de observações de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura. Os efeitos de estabilização foram analisados comparando o comportamento mecânico da areia antes e depois de cada tratamento. Os resultados mostraram que, embora o uso de várias misturas tivesse efeitos diferentes no comportamento de solos, o tratamento produziu uma mudança significativa nos comportamentos geotécnicos da areia em relação ao potencial de colapso, permeabilidade, compressibilidade e resistência ao cisalhamento.

A tecnologia de microscopia eletrônica de varredura (MEV) tem sido amplamente aplicada ao estudo das características micro estruturais de sistemas geotécnicos. Gao *et al.* (2021) utilizam o método de compactação com sonda vibratória, porém os mecanismos de reforço não foram claros, levando-os a uma série de testes experimentais, incluindo microscopia eletrônica de varredura, porosimetria de intrusão de mercúrio e difração de raios-X, em amostras de solo antes e depois do tratamento. Com base na análise em microescala, observaram que a propagação da vibração causou a destruição da cimentação de partículas do solo no estado inicial e, ao mesmo tempo, o tamanho das partículas diminuiu enquanto a esfericidade aumentou. As pequenas partículas quebradas gradualmente se acumularam e preencheram os vazios do solo sob a gravidade, o que diminuiu a porosidade e alterou a distribuição do tamanho desses vazios.

2 MATERIAL E MÉTODO

A Pesquisa bibliográfica teve início no mês de fevereiro de 2021, e como fonte principal utilizou-se a obra de Lollo (2008), que possibilitou aprofundamento do tema e ampliação de busca de outras fontes nas bases de dados *Scielo*, *Scopus* e *Google acadêmico*. Na busca dos artigos considerou-se a presença dos termos: solo em colapso; solo colapsível - risco; solo colapsível –



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

tecnologias. Como critério de seleção, não houve delimitação de tempo, foram selecionados os documentos mais atuais que relacionavam os descritores e que estavam em concordância com a fonte principal sugerida pelos orientadores. Também se utilizou como recurso, para recuperar documentos, a lista de referências dos artigos, que remeteram a documentos sobre o tema

Em relação à classificação da pesquisa, trata-se de exploratória quanto aos objetivos, documental quanto aos procedimentos e qualitativa quanto à abordagem do problema.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

E possível afirmar que os riscos, conforme verificado na literatura, são em sua maioria estruturais, envolvendo rachaduras, trincas e fissuras nas construções (LOLLO, 2008; SEGANTINI, 2018; VELLOSO; LOPES, 2011)), no entanto podem comprometer a vida útil da edificação (FERREIRA; OLIVEIRA, 2021; MILITITSKY; CONSOLI, SCHNAID, 2015; TAGUCHI, 2010; VELLOSO; LOPES (2011), reduzindo o tempo de necessidade de manutenção da construção (EDUARDO; SANTOS, NOBREGA, 2017; MATTOS, 2010), causando desconfortos aos moradores, além de comprometer o desempenho dos materiais ou componentes usados na edificação, e em casos mais rigorosos pode comprometer a edificação com a destruição parcial ou total de paredes, pisos e instalações hidráulicas, gerando altos custos financeiros (LOLLO, 2008; SOUZA, 2008).

Quanto às técnicas utilizadas, é preciso esclarecer que são resultado de longos anos de pesquisas, e da experimentação de profissionais da área de Construção Civil, e, quando executadas de forma correta, possibilitam o ganho de capacidade de carga e redução de recalques, decorrente da execução dos elementos de reforço. Foi possível constatar que dentre as técnicas utilizadas, por profissionais da área tanto no Brasil quanto em outras regiões do mundo, estão: o uso de estacas (LOLLO, 2008; SOUZA, 2008); o uso de mistura de pó de ferro (ALSHABA; ABDELAZIZ, RAGHEB, 2018), a compactação utilizando sonda vibratória (GAO et al., 2020), levando a compressão do solo; uso de misturas de polietilenoglicol (PEG) / nanolima (ZIMBARDO et al., 2020); uso de misturas de nanomateriais (nano-sílica, nano-argila e nano-carbonato de cálcio) (HAERI; VALISHZADEH, 2021); adição de escória granulada e pozolana natural (ZIANI et al. (2019); execução de colunas de solo laterítico compactado, inseridas na camada colapsível (FREITAS, 2016); uso de soluções aquosas aglomerantes (SOFT SOIL GROUP, 2015); e sugestão de medidas estruturais para evitar a ocorrência ou reduzir a magnitude dos processos geológicos, e de medidas não estruturais de caráter extensivo (LOLLO; OLIVEIRA, 2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Várias partes do mundo estão sucessivas à ocorrência de depósitos de solos colapsíveis e expansivos, nas mais diversas regiões, sendo frequentemente nas tropicais, áridas e semiáridas, nas quais o índice de evapotranspiração é maior que a precipitação. No Brasil, a ocorrência deste solo



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

é maior nos estados de Pernambuco e São Paulo, e tem os danos relacionados com a dimensão do processo que o ocasionou, sendo os maiores decorrentes de chuvas que umedecem o solo e regiões com areia pouco argilosa, tornando o colapso destes solos mais suscetível. Neste cenário, é possível observar que a variação da umidade do solo e, portanto, da sucção em campo exerce influência direta no comportamento do solo quando submetido ou não a sobrecargas.

O conhecimento acerca do solo que se dará a construção, e o controle dos métodos de execução são indispensáveis para o bom desempenho de uma obra. Ressalta-se neste cenário a importância do segmento da Construção Civil para o crescimento econômico e social do Brasil, que vem se aperfeiçoando e possibilitando o bem-estar das pessoas como o desenvolvimento de técnicas para utilizar os diversos tipos de regiões para construção.

Os estudos analisados demonstraram que a compactação dos solos é uma atividade fundamental nas obras geotécnicas e sua correta execução é capaz de promover melhorias significativas no comportamento do solo. Assim, o controle da compactação em campo representa uma alternativa viável para melhoria de solos colapsíveis.

Podemos concluir que os objetivos deste estudo foram alcançados e que as soluções apresentadas viabilizam a utilização de solos colapsíveis, no entanto, cabe o conhecimento da análise do tipo de solo que receberá a construção, o que permite minimizar riscos às edificações.

REFERÊNCIAS

AGNELLI, N. **Comportamento de um solo colapsível inundado com líquidos de diferentes composições químicas**. Orientador: José Henrique Albiero. 1997. 205f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-06042018-160823/publico/Tese_Agnelli_Norival.pdf Acesso em: 15 abr. 2021.

AL RAWAS, S. A. State-of-the-art review of collapsible soils. **Science and Technology, Special Review**, Omã, p. 115-135, 2000. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/205146522.pdf>. Access: 13 may 2021.

ALSHABA, A. A.; ABDELAZIZ, T. M.; RAGHEB, A. M. Treatment of collapsible soils by mixing with iron powder. **Alexandria Engineering Journal**, Egypt, v. 57, n. 4, p. 3737-3745, Dec 2018. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016818301686> Access: 15 maio 2021.

ANWER, L.; SARBAST, S. Collapsible soils characteristics; their suitability for projects foundations. *In*: BABAN, N. **Engineering Geology Project**. 2019. Available in: https://www.researchgate.net/publication/332864704_COLLAPSIBLE_SOILS_CHARACTERISTICS_THEIR_SUITABILITY_FOR_PROJECTS_FOUNDATIONS/link/5ccdfcfb92851c4eab8350d9/download Access: 15 apr. 2021.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: mecânica das rochas-fundações-obras de terra. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 2 v.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2003.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

COLLARES, A. C. Z. B. **A Influência de fatores estruturais e químicos no colapso e dispersão de solos solos**. Orientador: Orencio Monji Vilar. 2002. 249f. Tese (Doutora em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-07032016-113659/publico/Tese_Collares_AnaCZB.pdf Acesso em: 15 abr. 2021.

DAY, R. W. **Forensic geotechnical and foundation engineering**. 2th ed. Nova York: The McGraw-Hill Companies, 2011.

DE MELLO, V. F. B. **Mecânica dos Solos – Notas de Classe**, Escola Politécnica, USP. 1973. Disponível em: <https://victorfbdemello.com.br/arquivos/CourseNotes/POLI%20-%20MECANICA%20DE%20SOLOS%201973.pdf>. Acesso em: 3 maio 2021.

EDUARDO, A. F.; SANTOS, J. E. S.; NÓBREGA, M. V. Estudo da incidência de manifestações patológicas em uma edificação: caso de uma escola em Angicos/RN. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS, 13., 2017, Crato, CE, [Anais...] Crato: CINPAR, 2017. p.59-73. Disponível em: <http://www.urca.br/novo/portal/docs/pdf/2017/Eventos/CINPAR/CINPAR-Vol%20I-B.pdf> Acesso em: 3 maio 2021.

FERREIRA; A. R.; OLIVEIRA, R. F. Patologias na construção civil: estudo de caso em duas residenciais na cidade de Iraí de Minas – MG. **Revista GETEC**, Monte Carmelo, v. 10, n. 26, p. 1-16, 2021. Disponível em: <http://www.fucamp.edu.br/editora/index.php/getec/article/view/2362/1457> Acesso em: 3 maio 2021.

FRANCO, V. N. C.; NIEDERMEYER, F. M. Manifestações patológicas geradas por recalque de fundações. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, Ano 2, v. 1, p. 194-214, out. 2017. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/recalque-de-fundacoes?pdf=11085> Acesso em: 3 maio 2021.

FREITAS, M. C. de. **Avaliação de técnica de melhoria de solos colapsíveis por meio de colunas de solo laterítico compactado**. Orientadora: Cristina de Hollanda Cavalcanti Tsuha. 2016. 201f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-28112016-095823/pt-br.php> Acesso em: 3 maio 2021.

GAO, C.; DU, G.; LIU, S.; ZHANG, D.; ZHANG, K.; ZENG, B. Field study on the treatment of collapsible loess using vibratory probe compaction method. **Engineering Geology**, New York, v. 274, p. 1-11, Sep. 2020.

GAO, C.; DU, G.; LIU, S.; HE, H.; ZHANG, D. The microscopic mechanisms of treating collapsible loess with vibratory probe compaction method. **Transportation Geotechnics**, New York, v. 27, p. 1-15, mar. 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391220303809> Access: 15 maio 2021.

GIBBS, H. J.; BARA, J. P. Predicting Surface Subsidence from Basic Soil Tests," *In*: ed. P. Brown and W. Shockley. **Field Testing of Soils**. Philadelphia: ASTM International, 1962. p. 231-247.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HAERI, S. M.; VALISHZADEH, A. Evaluation of Using Different Nanomaterials to Stabilize the Collapsible Loessial Soil. **International Journal of Civil Engineering**, Irã, v. 19, n. 5, p. 583-594, may. 2021. Available: <https://link-springer-com.ez87.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s40999-020-00583-8> Access: 15 maio 2021.

HAMZEH, F.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. D. Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow. **Lean Construction Journal**, Arlington, VA, p. 15-34, 2012. Disponível em: https://www.leanconstruction.org/media/docs/lcj/2012/LCJ_11_008.pdf Acesso em: 3 maio 2021.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

LOLLO, J. A. Impactos Ambientais devidos ao colapso. *In*: LOLLO, J. A. (org.) **Solos colapsíveis**: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró Reitoria de Graduação, 2008. p. 203-214.

LOLLO, J. A. Revisão dos métodos de cartografia geotécnica de materiais geológicos colapsíveis. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA)**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 99-115, 2012. Disponível em: <https://www.abge.org.br/downloads/revistas/revisao.pdf> Acesso em: 10 maio 2021

LOLLO, J. A.; OLIVEIRA, C. M. G. Avaliação de Riscos em Solos Colapsíveis. *In*: LOLLO, J. A. (org.) **Solos colapsíveis**: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró Reitoria de Graduação, 2008. p. 217-236.

MALTA, B. **A importância da sondagem do solo para sua obra**. Ideal Construtora Junior, 30 out. 2019. Disponível em: <https://www.idealjr.com/post/a-import%C3%A2ncia-da-sondagem-do-solo-para-sua-obra> Acesso em: 10 maio 2021

MARGOTO, L. D.; APARECIDO JUNIOR, L. G. Caracterização e análise de solos colapsíveis na área urbana do município de campos gerais – MG. *In*: JORNADA CIENTÍFICA DA GEOGRAFIA. 4., 2016. Alfenas – MG [Anais...]. Alfenas: UNIFAL, 2016. Disponível em: www.unifal-mg.edu.br/4jornadageo https://www.unifal-mg.edu.br/4jornadageo/system/files/anexos/leonardo192_196.pdf Acesso em: 4 maio 2021.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: PINI, 2010.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C. ; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

NAIME, J. M.; CONCIANI, W.; SOARES, M. M.; CRUVINEL, P. E.; CRESTANA, S. Tomografia computadorizada aplicada ao estudo de solos colapsíveis. **Comunicado Técnico**, Brasília, DF, n. 17, p. 1-5, dez. 1997. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/29993/tomografia-computadorizada-aplicada-ao-estudo-de-solos-colapsiveis> Acesso em: 3 maio 2021.

NÁPOLES NETO, A. D. F. História das fundações. *In*: HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S; NIYAMA, S. (ed). **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

RODRIGUES, R. A.; LOLLO, J. A. Características dos Solos Colapsíveis. *In*: LOLLO, J. A. (org.) **Solos colapsíveis**: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró Reitoria de Graduação, 2008c. p. 59-67.

RODRIGUES, R. A.; LOLLO, J. A. Identificação dos solos colapsíveis. *In*: LOLLO, J. A. (org.) **Solos colapsíveis**: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró Reitoria de Graduação, 2008b. p. 155-174.

RODRIGUES, R. A.; LOLLO, J. A. Influência do fluido de umedecimento no processo de colapso. *In*: LOLLO, J. A. (org.) **Solos colapsíveis**: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró Reitoria de Graduação, 2008a. p. 129-153.

RODRIGUES, R. A.; MOLINA JÚNIOR, V. E.; LOLLO, J. A. A Influência dos constituintes do esgoto no colapso de um solo arenoso. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 29-36, jan./mar, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250046533_Influencia_dos_constituientes_do_esgoto_no_colapso_de_um_solo_arenoso Acesso em: 15 abr. 2021.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

SOLOS COLAPSÍVEIS: RISCOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
 Eliane Patrícia Leal Trevisoli, Gerson de Marco, Fabiana Florian

ROLLINS, M. K.; ROGERS, G. W. Mitigation Measures for Small Structures on Collapsible Alluvial Soils. **Journal of Geotechnical Engineering**, London, v. 120, n. 9, 1994.

SEGANTINI, A. A. S. Consequências do processo de colapso. *In*: LOLLO, J. A. (org.) **Solos colapsíveis**: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró Reitoria de Graduação, 2008. p. 119-127.

SOFT SOIL GROUP. **Grouting**: solos colapsíveis e expansivos tratamento. Rio de Janeiro: Engegraut, 2015. Disponível em: http://www.engegraut.com.br/catalogos/CPR-Grouting_Solos-Colapsiveis.pdf. Acesso em: 13 maio 2021.

SOUZA, A. Fundações em solos colapsíveis. *In*: LOLLO, J. A. (org.) **Solos colapsíveis**: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró Reitoria de Graduação, 2008. p. 175-200.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. Orientador: Mauro Lacerda Santos Filho. 2010. 84f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24135/1_Dissertacao%20Mario.pdf?%20sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 04 maio 2021.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações, critérios de projeto – investigação do subsolo**: Fundações Superficiais. São Paulo: Oficina dos Textos. 2011. v.1

VILAR, O. M.; FERREIRA, S. R. M. Solos colapsíveis e expansivos. *In*: CARVALHO, J. C. *et.al.* (org.). **Solos não saturados no contexto geotécnico**. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015. p. 415-427.

ZIANI, H.; ABBÈCHE, K.; MESSAOUDENE, O.; ANDRADE PAIS, L. J. Treatment of Collapsible Soils by Additions of Granulated Slag and Natural Pozzolan. **KSCE Journal of Civil Engineering**, Korea, v. 23, p. 1028–1042, 2019.

ZIMBARDO, M.; ERCOLI, L.; MISTRETTA, M. C.; SCAFFARO, R.; MEGNA, B. Collapsible intact soil stabilisation using non-aqueous polymeric vehicle. **Engineering Geology**, New York, v. 264, p. 1-10, Jan. 2020.