

Conhecimento do Engenheiro e da Comunidade sobre os Solos Colapsíveis e Expansivos

Jéssica de Alencar Pinto

Estudante, Universidade Federal do Cariri, Barbalha/CE, Brasil, jessica.alencar@aluno.ufca.edu.br

Ana Patrícia Nunes Bandeira

Docente, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte/CE, Brasil, ana.bandeira@ufca.edu.br

José Camapum de Carvalho

Pesquisador Colaborador na Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, camapumdecarvalho@gmail.com

RESUMO: Na região do Cariri, Ceará, é comum ocorrências de solos não saturados de comportamento expansivo e colapsível, e problemas em edificações devido ao comportamento desses solos. O Código de Ética Profissional que regula a Engenharia, a Agronomia, a Geologia, a Geografia e a Meteorologia, traz em seu Artigo 4º que “As profissões são caracterizadas por seus perfis próprios, pelo saber científico e tecnológico que incorporam, pelas expressões artísticas que utilizam e pelos resultados sociais, econômicos e ambientais do trabalho que realizam”. Dentro da expressão artística, o artigo apresenta, em forma de poesia, questões técnicas e uma breve revisão de literatura sobre tópicos relacionados ao comportamento dos solos não saturados. Traz também poemas sobre o conhecimento do engenheiro e da comunidade da região do Cariri, a fim de popularizar a ciência e a tecnologia. Exemplificando sobre sua relevância, o artigo contribui já no poema da introdução para o entendimento do colapso e expansão e aborda a questão da dinâmica temporal e espacial dos solos, aspecto pouco considerado na prática da engenharia. O artigo é finalizado destacando a ênfase dada em vários momentos à relevância da engenhocidade, do conhecimento e da reflexão para uma Engenharia Geotécnica de qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: Solos não saturados, Poesia, Solo Tropical.

ABSTRACT: In the Cariri region, Ceará, unsaturated soils with expansive and collapsible behavior are common, and problems in buildings due to the behavior of these soils are common. The Code of Professional Ethics that regulates Engineering, Agronomy, Geology, Geography and Meteorology, states in its Article 4 that “Professions are characterized by their own profiles, by the scientific and technological knowledge they incorporate, by the artistic expressions they use and for the social, economic and environmental results of the work they perform”. Within artistic expression, the article presents, in the form of poetry, technical issues and a brief literature review on topics related to the behavior of unsaturated soils. It also brings poems about the knowledge of the engineer and the community in the Cariri region, in order to popularize science and technology. Exemplifying its relevance, the article already contributes in the introduction poem to the understanding of collapse and expansion and addresses the issue of the temporal and spatial dynamics of soils, an aspect little considered in engineering practice. The article ends by highlighting the emphasis given at various times to the relevance of ingenuity, knowledge and reflection for quality Geotechnical Engineering.

KEYWORDS: Unsaturated Soils, Poetry, Tropical Soil.

1 INTRODUÇÃO

Na região do Cariri, Ceará, é comum ocorrências de solos não saturados de comportamento expansivo e colapsível, e problemas em edificações devido ao comportamento inesperado do solo. A fim de popularizar o conhecimento sobre o tema, este artigo foi elaborado em forma de poemas, um campo da expressão artística. Com o objetivo de ampliar elos entre a engenharia e a sociedade, alguns profissionais têm publicado trabalhos na linha da expressão artística. O Engenheiro Civil Aerson Moreira, docente da UFCA,

divulga em mídias sociais e em praças públicas do Cariri, artigos científicos em forma de literatura de cordel. “Entulho na obra pode acabar”, divulgado em 2020, com base no trabalho de Barreto *et al* (2009), é um exemplo. Na mesma linha, o geólogo Gorki Mariano, docente da UFPE, já publicou alguns livros poéticos, a exemplo do intitulado “Geologando”, inspirado nos processos de formações rochosas, publicado em 2023, em comemoração aos 66 anos do curso de graduação em Geologia da UFPE (MARIANO, 2023). Outro trabalho do geólogo é o intitulado “Riolito, o Vulcão Pernambucano”, publicado em um periódico da Unicamp (MARIANO E BARBOSA, 2015).

Neste contexto, este artigo buscará contribuir, através de poemas, com a interação do meio profissional com a sociedade, de maneira que os leitores se sintam aptos a interpretar e compreender o tema poético. Em seguida a esta introdução, o item subsequente foi subdividido em subitens, de maneira a abordar temas importantes no contexto do comportamento dos solos não saturados. Em seguida é apresentado um item em que se estabelece diálogos com a sociedade, por meio de poemas e, finalmente, são apresentadas as considerações finais e a lista de referência bibliográfica.

O poema que se segue dá início a este artigo, tratando do seu tema central, que são os solos expansivos e colapsíveis.

Expansão ou Colapso eis a Questão?

Expansão ou colapso eis a questão!
Quem responde é o solo,
Mas também o agente causador,
Entendendo os fenômenos, evita-se dor.

No solo, são fatores importantes:
A composição química e mineralógica,
Assim como a sua estrutura,
Mas o seu estado muda a todo instante, o que é relevante.

São agentes causadores da expansão e do colapso:
Alterações na química do meio;
Vibrações e alterações no estado de tensões.

Outros aspectos surgem a qualquer instante,
Os temas são amplos e o contexto dinâmico no tempo e no espaço,
A engenhosidade ajuda a evitar, negativos percalços.

Conforme apresentado em 2023, por Ferreira e Vilar,
Os comportamentos de colapso e de expansão,
São encontrados nas diversas regiões,
Como no Mato Grosso, Pernambuco e Ceará.

Solos expansivos, colapsíveis, erosões estão por esse Brasil aqui e ali,
Não foge à regra a região do Cariri.
Mas não se assustem eles integram a natureza.
Sustos ocorrem quando as intervenções antrópicas do meio sem reflexões removem a beleza.

Remoções que quando mal planejadas afetam no solo a estabilidade,
Estabilidade que o solo pode perder independentemente de idade.
Esses temas estão em livros, apontam Mascarenha *et al.* (2023) em capítulo sobre erosão.
E estão na mídia como mostrado em Buricupu (MA), situações que tocam o coração.

Mas jovens e idosos que este trabalho lerá,
Tenham em mente que com conhecimento, observação, reflexão e engenhosidade,
Independentemente de experiência, cada potencial de problema geotécnico se resolverá

Mas afinal o que são os solos expansivos e colapsíveis?
A resposta à questão reside no conhecimento, elemento aos(as) engenheiros(as) indispensáveis,
Nos poemas que seguem, alguns revelarão os grandes conhecimentos dos leitores como prováveis

2 TEXTOS TÉCNICOS POÉTICOS SOBRE SOLOS COLAPSÍVEIS E EXPANSIVOS

2.1 Na Arte das Fundações - NBR 6122

Na arte das fundações, onde o solo é o palco,
A NBR 6122 nos guia num compasso exato.
Solos especiais são desafios a se pensar,
Em cada projeto, um mundo particular.

Para os solos expansivos, um aviso é dado,
A pressão admissível, um cuidado a ser considerado.
Quando a expansão supera a pressão em sua dança,
Deslocamentos podem surgir, em uma perigosa mudança.

Determinar experimentalmente, é a norma a seguir,
Em cada solo, um mistério, um porvir.
A pressão de expansão, dependente do confinamento,
Um intrincado jogo, um sutil movimento.

E aos solos colapsíveis, a precaução é essencial,
Evitar encharcamento, conhecer o potencial.
Das fundações superficiais, inicialmente é indicado fugir,
Mas se assim preferir, estudo e melhoria do solo devem preceder o construir.

Em resumo, analisar é imperativo,
Potencial de expansão e de colapso, fatores decisivos.
Nos ensaios de campo e de laboratório, a busca deve ser constante,
Por informações necessárias, análises minuciosas, de forma relevante.

Assim, na jornada da construção, com norma e razão,
Erguemos nossas fundações, com firmeza e precisão.
Sobre o solo, nosso palco, nossa eterna inspiração,
Alicerçam os sonhos, em cada edificação.

2.2 Intemperização e Formação dos Solos em Ambiente Tropical

Diferente dos solos sedimentares de outras regiões do planeta,
Em climas tropicais eles podem passar por intenso processo de intemperização.
A depender do clima, da geologia, da geomorfologia e das condições de drenagem,
Quando tais condições são favoráveis sua história parte em carruagem,
São então formados os solos tropicais, mas falhas não cometa,
Pois podem também a partir da rocha serem eles formados.
Dando origem ao longo do perfil de intemperismo a solos amarelos, vermelhos, variegados...

Nos perfis residuais, quando se inicia a intemperização da rocha, os saprólitos são formados.
Solo rico em minerais primários, minerais que como o quartzo são dotados de longevidade.
Continuando a intemperização no perfil, surgem os solos saprolíticos,
Neles se fazem presentes minerais secundários, sendo alguns deles por vezes expansivos,
Mas a característica expansiva pode ter origem na própria estrutura da rocha mãe.
Portanto, a expansão pode ter origem na estrutura ou no mineral,
Diante destas origens distintas de problemas, a engenharia encontrará a melhor solução.

Continuando a intemperização são formados os solos de transição,
Em parte têm características dos solos saprolíticos e em parte passando por profunda transformação.
Daí são eles heterogêneos, em propriedades e comportamentos.
Continuando a intemperização, surgem os solos profundamente intemperizados,
Que embora ainda possam conter minerais primários, são ricos nos secundários não expansivos.
Neles estão o grupo da caulinita e os óxi-hidróxidos de ferro e alumínio com a intemperização formados.

Os minerais neles se aglutinaram no tempo formando agregados e uma estrutura metaestável. Ela possui distribuição de poros bimodal com macroporos entre agregados e neles os microporos. Esses solos são homogêneos, geralmente bem drenados e apresentam comportamento colapsível. Com uso de microscópio os detalhes aparecem, que a olho nu são imperceptíveis. O colapso pode ter distintas origens, mas muitos se atém no aumento de tensão e na saturação. Sua origem pode ir de uma simples alteração química do meio a mudanças no estado de tensão, Mas vamos ficando por aqui, pois a reflexão e engenhosidade sempre encontrará as causas e solução.

2.3 Solos de Comportamento Colapsível

2.3.1 O que é e como Ocorre o Colapso

A literatura geralmente se prende ao aumento de tensão e de umidade como fontes do colapso. Destaca-se, no entanto, que colapso é oriundo da metaestabilidade estrutural do solo, Sem tocar nas classificações, torna-se necessário buscar outras razões. Por exemplo, nos estados de tensões que podem mudar a qualquer momento, Sem esquecer das alterações químicas do meio por várias fontes de poluição, Analisar o colapso requer, portanto, entendimento, Que se encontra em constante crescimento.

2.3.2 Comportamento Colapsível do Solo

Solos não saturados de comportamento colapsível, Podem apresentar em seu volume, repentinas reduções, Com o rearranjo das partículas quando umedecidos, Mesmo sob constantes tensões.

Diversos fatores interferem no comportamento de colapso do solo, Tais como: estrutura; sucção e cimentação, Conforme citados por Rodrigues *et al.* (2021), Afirmando que a resistência dos vínculos reduz com a inundação.

Quando o colapso não é avaliado previamente, Problemas podem surgir nas obras, E custos adicionais são onerados.

Ensaio edométrico e provas de cargas podem ser realizados. Para avaliar o comportamento de colapso, E evitar as rachaduras, cada vez mais frequentes.

2.3.3 Textura e Resistência a Penetração dos Solos Colapsíveis

Os solos colapsíveis se apresentam Em diversos tipos de texturas, Que vão desde granulares à finas, como nas areias e siltes E nas agregações e flocculações de argilas.

A resistência, desses solos, à penetração Varia significativamente com a estação climática, Pois tem relação com a sucção, Bandeira *et al.* (2023) apresentam tal fato.

No Campo Experimental em Juazeiro do Norte, O N do SPT, de 8 para 2, despencou. Não se pode dizer que foi má sorte, Mas uma zona ativa superficial indicou.

2.4 Solo de Comportamento Expansivo

2.4.1 Comportamento Expansivo do Solo

Segundo Ferreira e Vilar (2023), os solos de comportamento expansivo Podem apresentar aumento de volume pelo umedecimento, E posterior redução por secagem. Fenômeno que tende a se repetir ciclicamente, Por variações sazonais de umidade.

Apresentam variação volumétrica de elevada complexidade, E como características morfológicas têm-se os slickensides, Resultantes da contração e fissura com o ressecamento, E da expansão com o umedecimento, segundo Ferreira e Ferreira (2009).

As características físico-químicas dos argilominerais, Provenientes da rocha por decomposição, Se relacionam ao aumento de volume e à tensão de expansão.

A estrutura laminar do tipo 2:1, Pode estar presente em muitas decomposição de rochas, Mas cuidado com as montmorilonitas, pois são mais expansivas.

Ferreira e Vilar (2023) ainda comentam: Por outro lado, certas formações, como as sedimentares, Que permitem a acumulação de diferentes componentes, Também dão origem à expansibilidade, Como é o caso de folhelhos e calcários “tão marcante no Cariri cearense”.

Em Pernambuco, semiárido brasileiro, Uma coisa interessante por Ferreira e Ferreira (2009) foi relatada, Um comportamento expansivo, apresentou o solo, Quando baixas tensões de inundação lhe foram aplicadas.

No entanto, para maiores tensões, Deformações de recalque foram observadas, Comportamento de colapso o solo apresentou. Que curioso né?! Mas está aí, o que a investigação geotécnica nos revelou!

Com certeza você Engenheiro(a), Engenheirando(a), Na cabeça tem a resposta, Apesar de nos deixar todos(as) a refletir, Por gentileza, não nos vire as costas.

2.5. Os Ensaios de Placa e o Expansocolapsômetro

Para análise da colapsibilidade dos solos, Ensaios de campo podem ser realizados. A exemplo das provas de carga, Que podem ser em estacas ou em placas aplicadas.

Queremos aqui destacar, a prova de carga em placa, Regido pela NBR 6489 (ABNT, 2019), Salientando que infelizmente, É pouco utilizada na prática.

Para fins de pesquisa vale destacar, Os ensaios com placa em miniatura que foram utilizados, Por Ferreira *et al.* (2002) e por Souza Neto (2004).

O equipamento empregado no ensaio de placa em miniatura,
Foi denominado de Expansocolapsômetro;
Em que a tensão é transferida ao solo,
Por meio de uma placa com 0,10 m de diâmetro.

O Expansocolapsômetro, primeiramente foi idealizado,
Para observar no solo, o comportamento de colapso.
Composto por um tripé e uma haste central,
Apresentou resultados satisfatórios, nos locais onde foi utilizado.

Na UFCA, o equipamento foi utilizado,
Para estudar a capacidade de carga de um solo arenoso fino.
Bandeira *et al.* (2023) apresentam os bons resultados,
Que, com outros métodos, foram comparados.

Para expandir o seu significado,
Em relação às placas de maior dimensão,
Recomenda-se em diferentes profundidades, a sua realização.

Pela facilidade de execução do ensaio com placa em miniatura,
Parece ser promissora utilizá-la em pequenas obras,
Para estimar, do solo, a carga de ruptura.

2.6. A Sucção para o Entendimento do Colapso e Expansão

O comportamento mecânico dos solos não saturados,
Depende, dentre outros fatores, do estado de tensões atuantes.
No entanto, a atuação da sucção matricial amplia a sua relevância,
Alterações da sucção, conferem ao solo algumas mudanças,
Que interferem nas propriedades e no comportamento,
Sendo, portanto, seu estudo de grande importância.

É relevante a curva de retenção,
Para o comportamento dos solos não saturados,
Considerar a sua forma nos solos tropicais,
Ajuda na análise dos resultados.

Nestes solos, as formas podem ser unimodais e bimodais,
Sendo o solo pouco intemperizado, saprolítico, ela é unimodal,
Mas, ampliando a intemperização,
A curva passa a ser de formato bimodal.

Nos solos saprolíticos não expansivos,
Após a entrada de ar, a porosidade entra em estabilização.
No entanto, se expansivos forem os argilominerais,
A porosidade tende a variar com a sucção.

Em solos muito intemperizados,
Os macro e microporos apresentam-se na estrutura predominantemente.
Na zona de macro, a sucção é baixa;
E pouco interfere no comportamento.

No trecho de mesoporos, entre os macro e microporos,
A sucção passa por significativa variação, ocorrendo colapso por aumento da saturação.
Ao atingir os microporos predominantes no interior dos agregados,
O solo atinge certa estabilização e com aumento da umidade, colapsos importantes serão registrados.

Outro fator importante, no comportamento de colapso,

Trata-se da ascensão do lençol freático,
Que pode causar nas fundações recalques inesperados.
Interfere ainda no colapso, líquidos poluentes, pois gera no solo instabilização,
O que se deve à variação de sucção osmótica e a perda de cimentação por solubilização.

3 CONVERSANDO COM A SOCIEDADE

3.1 Conhecimento dos Pedreiros

O engenheiro sabe que é importante, o solo investigar.
Mas, e o pedreiro, será que já ouviu falar?

Um pedreiro certa feita disse, que em pouca profundidade,
É onde deve-se apoiar a sapata ou o alicerce de uma casa.
Isso é padrão, para qualquer tipo de solo, variando pouco de cidade para cidade,
Pois, quando se compara com um prédio, pequena é a carga.

Outro relatou: deve-se escavar até o solo firme encontrar,
Geralmente, aqui na cidade, até 1,5 m de profundidade, deve ser a escavação,
Mas vale uma importante observação,
O massapê vermelho, deve-se evitar.

No massapê amarelo, a casa pode apoiar,
Não vai ter problemas, pode, em mim, confiar.

Pior é construir, em cima de um aterro,
Mas compactar o solo é o grande segredo, disse ainda, outro pedreiro.

A fala do outro foi desse jeito:
Se vai construir, é preciso escavar,
Achou o massapê, tem que aprofundar,
Esse é ruim, pode gerar problema na construção,
Continue avançando sem medo; atravessar a tabatinga, é o segredo,
Para encontrar o esperado lajedo, onde se apoiará a fundação.

Mas diante de tantas opiniões, como fica o engenheiro(a)?
Experiências como as dos pedreiros são relevantes,
Mas se o engenheiro(a) não tem o conhecimento,
Se pode errar a qualquer instante.

3.2 Depoimento de um Morador

O solo daqui é ruim, é o que diz Dona Maria,
Comprei tudo que o pedreiro pediu, mas rachou minha casa todinha.
Meu sonho foi frustrado, após morar aqui por um ano.
Surgiram rachaduras por todo lado, foi um total desengano.

Na casa da esquerda e da direita, os problemas igualmente acontecem.
O construtor até tenta dar um jeito, mas as rachaduras reaparecem.
Aqui no Cariri é assim, em vários municípios isso é frequente.
Será um problema do solo? ou um problema pra muita gente?

É necessário o solo conhecer, para o problema prevenir,
O que vocês podem fazer por nós?
Engenheiros! Vocês precisam agir!

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste artigo foi possível abordar, através de poemas, temas importantes no contexto do comportamento dos solos não saturados. O acróstico a seguir retrata bem as considerações finais deste artigo sobre os solos expansivos e colapsíveis, tão presentes nas regiões semiáridas.

Final Feliz

Foi relevante para o(as) autor(as), escrever este artigo,
Inspirações vieram de muitas pesquisas realizadas,
Nos casos de colapso e expansão em obras lembrados.
Auroras novas brotaram, não pode ser negado.
Laureando ao leitor por meio de poemas, com amizade e carinho regados.

Foram tratados temas relevantes,
Engenhosidade, conhecimento e reflexão vieram à tona por meio de versos em muitos instantes.
Literaturas foram citadas, outras apenas lembradas.
Importante agora é a confiança na Engenharia Geotécnica em permanente construção,
Zarpando as incertezas, pois com ela, para o colapso e expansão, sempre haverá solução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019) NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019) NBR 6489: Prova de carga estática em fundação direta. Rio de Janeiro.
- Bandeira, A. P. N.; Souza Neto, J. B.; Coutinho, R. Q.; Xavier, J. M.; Chaves, A. M. M.; Silva V. L. (2023) Investigating the Collapsible Behavior of Sedimentary Soil in Shallow Foundations. *Geotechnical and Geological Engineering* **JCR**, v. 1, p. 1-19.
- Barreto, A. M., Bertini, A. A., Carvalho, R. M. (2009) Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil: Crítica À Implementação. In: *Encontro Nacional Sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção, Feira de Santana*. p. 642-654.
- Ferreira, S. R. M., Vilar, O. M. (2023) Solos Colapsíveis e Expansivos. In. *Solos não saturados no contexto geotécnico*. Camapum de Carvalho, J., Gitirana Junior, G. F. N.; Machado, S.L.; Mascarenha, M.M.A.; Silva Filho, F.C.; Rodrigues, R.A. (org.). São Paulo: ABMS, cap. 17, p. 559-595.
- Ferreira S. R. M., Ferreira M.G.V.X. (2009) Mudanças de volume devido a variação de teor de umidade em um Vertissolo no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 33: p. 779-791.
- Ferreira, S. R. M.; Fucale, S. P.; Silva, M. J. R., Amorim, S. F. (2002) Análise de variação de volume devido à inundação de alguns solos colapsíveis no município de Petrolina-PE. *X Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*, Ouro Preto, v. I, p. 1-14.
- Mariano, G., Barbosa, J. A. (2015) Riolito, o Vulcão Pernambucano. *Terra e Didática*, Campinas, SP, v. 3(1), p. 92-96. DOI: 10.20396/td.v3i1.8637483. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8637483/5188>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- Mariano, G. (2023) *Geologando*. E-book. Disponível em: <https://www.adufepe.org.br/wp-content/uploads/2023/06/GEOLOGANDO-2023-1.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- Mascarenha, M.M.A., Mahler, C., Lafayette, K.P.V., Nacinovic, M.G.G., Bandeira, A.P.N., Almeida, J.G.R. (2023) Erosão. In. *Solos não saturados no contexto geotécnico*. Camapum de Carvalho, J., Gitirana Junior, G. F. N.; Machado, S.L.; Mascarenha, M.M.A.; Silva Filho, F.C.; Rodrigues, R.A. São Paulo: ABMS, Cap. 24., p. 825-865. Disponível em <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/978-65-992098-3-3>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- Rodrigues R. A., Soares F.V.P., Sanchez M. (2021) Settlement of footings on compacted and natural collapsible soils upon loading and soaking. *J Geotech Geoenviron Eng*.