

Capítulo 1

SOLOS NÃO SATURADOS NOS CONTEXTOS DA EDUCAÇÃO E DA FORMAÇÃO PROFISSIONAL

José Camapum de Carvalho

Gilson de F. N. Gitirana Jr.

Sandro Lemos Machado

Márcia Maria dos Anjos Mascarenha

Francisco Chagas da Silva Filho

Roger Augusto Rodrigues

DEDICATÓRIA

Os autores dedicam este capítulo à educação da sociedade em sentido amplo e prestam aqui uma homenagem aos Professores Milton Vargas, *in memoriam*, e Moacyr Schwab, por suas visões voltadas, com fundamento no conhecimento, na observação e na reflexão para o entendimento das propriedades e do comportamento dos solos no desempenho das obras geotécnicas.

1. INTRODUÇÃO

A principal finalidade deste capítulo é realçar a importância, para a sociedade e para os profissionais que atuam na área geotécnica, de se ter conhecimentos básicos sobre os solos em estado não saturado, de modo que grande parte desses conhecimentos se encontram expostos neste livro. Esses conhecimentos podem, como se ilustrará neste capítulo, chegar à sociedade já no Ensino Fundamental, desmistificando os solos não saturados como pertencentes a um domínio de conhecimentos complexo e de difícil acesso.

A transferência de conhecimentos básicos sobre os solos não saturados para a sociedade como um todo contribui para a mitigação de riscos, principalmente em um período marcado por mudanças climáticas, cujo aumento da temperatura pode causar eventos extremos com aumento de precipitações nas regiões de clima tropical e subtropical e redução das precipitações nas regiões de clima árido. Nesse contexto, este capítulo tem relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Na-

ções Unidas e, consequentemente, com a Agenda Global de 2030, que prevê ações voltadas para educação de qualidade, cidades e comunidades sustentáveis, vida terrestre e ações contra mudanças climáticas.

Este capítulo busca colocar algumas das razões que tornam este livro relevante para os profissionais atuando na área geotécnica. Ele se distingue do último capítulo desta obra pelos seus objetivos, pois, enquanto o último capítulo de autoria dos organizadores do livro chama a atenção sobre a necessidade do despertar para questões relacionadas a propriedades e comportamentos dos solos em estado não saturados, na maioria não tratadas de modo específico no conteúdo dos capítulos do livro, o presente capítulo busca realçar a importância do uso dos conteúdos expostos no livro, mas sem a pretensão de se discutir cada um deles em suas especificidades.

Embora este capítulo trate de aspectos práticos, realçando a relevância do livro como um todo, ele não coloca de lado a importância e os benefícios da reflexão para a melhor prática da engenharia, mesmo sobre os conteúdos postos ao longo dos capítulos, evitando, no entanto, a recolocação, de modo direto, de aspectos tratados ao longo do livro.

2. OS SOLOS NÃO SATURADOS NO CONTEXTO DOS DIREITOS E DEVERES

Embora, com frequência, relegue-se a segundo plano a relevância da legislação vigente para a prática profissional, ela assume grande importância em setores como o da engenharia geotécnica. Projetos e obras geotécnicas lidam, muitas vezes, com elevadas incertezas devido ao limitado conhecimento da natureza dos solos e ao grande número de variáveis envolvidas. Dentre essas variáveis, pode-se citar, notadamente, aquelas que dizem respeito à variabilidade de condições geológicas e às interferências ambientais nos solos (e.g., condições atmosféricas). Embora os conhecimentos possam, geralmente, ser ampliados e aprofundados e as intervenções ambientais, de certa forma, controladas, reduzindo-se as incertezas, estas levam com frequência a casos envolvendo desempenho inadequado de estruturas e sistemas projetados e executados. Tem-se, nesse contexto, o desafio de se interpretar as leis e atribuir responsabilidades aos profissionais de engenharia, considerando a natureza e complexidade das obras, sempre à luz do que deve ser considerada a boa prática e o próprio alcance preditivo dos métodos de análise e projeto.

Em seu Capítulo I, que trata dos “**Direitos e Deveres Individuais e Coletivos**” no âmbito dos “**DIREITOS E GARANTIAS FUNDAMENTAIS**”, a Constituição Federal estabelece em seu artigo 5º (grifou-se):

Art. 5º Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País **a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade**, nos termos seguintes (grifou-se):

...

II - **ninguém será obrigado a fazer ou deixar de fazer alguma coisa senão em virtude de lei;** (grifou-se)

...

Realçaram-se, nesse conteúdo constitucional, aspectos diretamente relacionados à prática da engenharia. Sendo **a inviolabilidade do direito à vida e à segurança** Direitos Fundamentais de todos, não podem as obras e intervenções oriundas da prática da engenharia desrespeitar tais direitos. Por exemplo, a ruptura de um aterro ou corte ou a ruína de um edifício, porque não se analisou o impacto da saturação no comportamento de um solo inicialmente em estado não saturado, reflete questões atinentes à segurança, que podem chegar ao nível de perdas de vidas humanas. Nesse contexto, cabe à engenharia estabelecer critérios de segurança e empregar as tecnologias adequadas.

Outro ponto realçado diz respeito ao inciso II citado, que estabelece que **ninguém será obrigado a fazer ou deixar de fazer alguma coisa senão em virtude de lei**. O destaque é relevante para dizer que as normas técnicas não são leis, ou seja, não são cogentes, mas podem assumir força de lei quando seu descumprimento, por exemplo, ameaçar a vida e a segurança das pessoas ou quando integrar um contrato firmado entre as partes, embora nenhum contrato possa contrariar os Direitos Fundamentais estabelecidos na Constituição Pátria.

No inciso XXXII desse mesmo artigo, está previsto que “o Estado promoverá, na forma da lei, a defesa do consumidor”, e, quando a Constituição Federal trata dos Princípios Gerais de Atividade Econômica no Título VII, da Ordem Econômica e Financeira, ela adota como um dos princípios a defesa do consumidor (inciso V, artigo 170, Constituição Federal). Dessa maneira, nos termos dos artigos 5º, inciso XXXII, 170, inciso V, da Constituição Federal, e artigo 48 de suas Disposições Transitórias, foi editado o Código de Defesa do Consumidor (Lei nº 8.078 de 11/09/1990).

No artigo 3º deste Código, é estabelecido que o “Fornecedor é toda pessoa física ou jurídica, pública ou privada, nacional ou estrangeira, bem como os entes despersonalizados, que desenvolvem atividade de produção, montagem, criação, construção, transformação, importação, exportação, distribuição ou comercialização de produtos ou prestação de serviços”. O artigo 23 dessa Lei estabelece que a “ignorância do fornecedor sobre os vícios de qualidade por inadequação dos produtos e serviços não o exime de responsabilidade”, e, ao tratar, no artigo 26, dos prazos de decadência e prescrição, o § 3º estabelece que “Tratando-se de vício oculto, o prazo decadencial inicia-se no momento em que ficar evidenciado o defeito”.

Os aspectos aportados nesse item objetivam realçar a importância do conteúdo deste livro para o cumprimento dos preceitos constitucionais e daqueles contidos no Código de Defesa do Consumidor. Por exemplo, ao abordar as questões relacionadas à degradação textural e estrutural dos solos tropicais profundamente intemperizados não saturados quando em presença de estabilizantes químicos ou quando submetidos a obras envolvendo o aporte de concreto ou argamassa ao solo, indica a necessidade de mais estudos em determinadas situações, pois, a médio e longo prazo, podem dar origem, na obra, a vícios entendidos com ocultos.

Finalmente, cabe destacar que, mesmo em atividades como a pericial, não rara na prática forense, o conteúdo deste livro pode ser de grande valia para a boa atuação profissional de engenheiros e engenheiras.

3. OS SOLOS NÃO SATURADOS NO CONTEXTO DO ENSINO FUNDAMENTAL

Muitos problemas ambientais e a vivência de situações de risco pela sociedade podem ser evitados por meio da educação em sentido amplo, ou seja, indo além do simples educar para saber ler, escrever, fazer contas, etc.

O ensino de conceitos sobre solos e, particularmente, sobre solos não saturados, pode ser inserido em diversos contextos, desde o Ensino Fundamental. Por exemplo, a cartilha “Meio Ambiente: Infiltração” (Lelis & Camapum de Carvalho, 2011) traz, em suas páginas 26 a 29, uma atividade para crianças da 1ª à 5ª série do Ensino Fundamental sobre o tema: Infiltração: interação solo-água. Já no início, na página 26, a cartilha traz os conceitos de solos finos (solos argilosos e siltosos) e solos granulares (areias e pedregulhos).

A atividade é dividida em etapas e, em cada uma delas, introduzem-se conceitos, como será ilustrado a seguir, para mostrar que aqueles sobre solos e sobre os solos não saturados devem ser apresentados já no Ensino Fundamental, uma vez que configuram noções sobre o meio físico relevantes para a compreensão, por exemplo, de fenômenos importantes que relevam a interação do ser humano com o meio ambiente, preparando a criança para uma vida melhor, deparando-se menos com situações de riscos e gerando menos problemas ambientais ao longo da vida. As etapas desenvolvidas na atividade integram a ideia da educação ativa, sendo que as experiências levam a criança a concluir sobre os temas propostos em cada uma delas. Na atividade, são utilizados areia, água, copo, colher, bandeja e garapa PET, sempre com cuidados voltados à segurança das crianças e educando-as também nesse sentido. A seguir, são descritos os conceitos abordados ao longo da atividade proposta na cartilha:

1) O desenvolvimento da atividade na primeira etapa leva a criança ao conhecimento dos conceitos de atrito e coesão.

2) Na segunda etapa, a criança aprende que a água pode desempenhar um papel lubrificante, diminuindo o atrito entre partículas.

3) Na terceira etapa, o experimento realizado pela criança permite que ela aprenda a importância da capilaridade na geração da coesão aparente e que esse efeito capilar desaparece em casos como o de uma areia seca e de uma areia saturada. Ainda nessa etapa, a criança aprende sobre a saturação do solo. Ela também aprende sobre superfícies que permitem a infiltração da água da chuva ou a impede.

4) Na quarta e última etapa dessa atividade, a criança aprende que a água pode gerar erosão e é convidada a responder a assertiva a seguir, preenchendo o quadro com a cor verde se ela está correta, amarela se estiver na dúvida, e vermelha se errada:

...
☐ 3) Ao chover muito nas regiões serranas, a água, ao se infiltrar em excesso, pode gerar a ruptura do solo, como ocorreu com a torre de areia, por isso, devemos evitar morar nessas áreas que oferecem risco.

Além disso, talvez o mais importante, devido aos frequentes eventos de rupturas de taludes em regiões serranas do Brasil, como os eventos de Petrópolis em 2022, é que esta última questão vai além dos conhecimentos previamente apresentados sobre a ação da

água no solo. Ela mostra que a educação da sociedade em sentido amplo, inserindo-se inclusive ensinamentos sobre o comportamento dos solos não saturados, deve ser incentivada.

Indo ao encontro da necessária educação da sociedade em sentido amplo, a cartilha “Meio Ambiente: Erosão em Borda de Reservatório”, também voltada para a primeira à quinta série do Ensino Fundamental, apresenta uma ampla discussão sobre o tema, na qual consta a atividade apresentada na Figura 1 (Ribeiro *et al.*, 2016), que coloca a criança perante situações relacionadas a riscos que guardam elo com a saturação dos solos, como os desmoronamentos de encostas e os alagamentos e inundações.

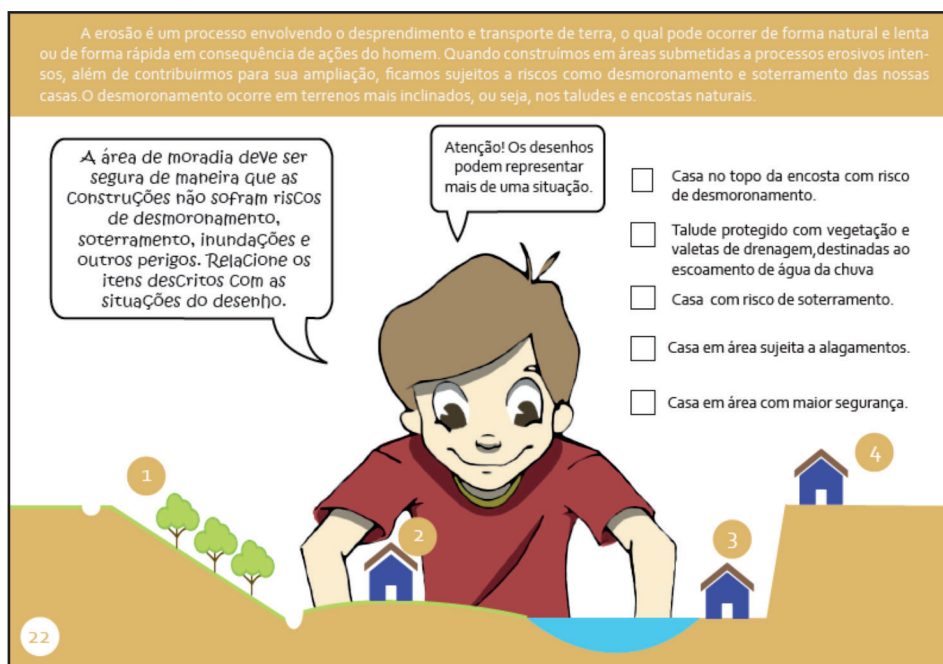


Figura 1 – Atividade voltada para a educação ativa (Ribeiro *et al.*, 2016)

Portanto, esse item mostra ser possível desmistificar e aprofundar as atividades de ensino concernentes ao tema solos não saturados, lembrando sua grande relevância em países de clima tropical, como é o caso do Brasil. Os conteúdos mostrados nessas cartilhas e na cartilha “Meio Ambiente: Erosão” (Camapum de Carvalho & Lelis, 2006), permitem que as crianças construam respostas com fundamento nas experiências desenvolvidas, desenhando, colorindo, fazendo experimentos, brincando.

4. OS SOLOS NÃO SATURADOS NO CONTEXTO DO ENSINO SUPERIOR

Embora respeitando a liberdade na prática da docência, para que os conhecimentos básicos não só sobre as propriedades e comportamento dos solos não saturados, mas tam-

bém dos solos saturados, passem efetivamente a integrar a formação profissional dos(as) alunos(as), faz-se necessário tornar a educação mais ativa por meio da construção de atividades como exemplificadas nas cartilhas citadas voltadas à educação no Ensino Fundamental. Faz-se necessário não simplesmente que o docente dê exemplos ou mostre casos, mas que os(as) próprios(as) alunos(as) construam a contextualização dos conteúdos em estudo, situando-os, por exemplo, em relação ao meio ambiente e em estudos voltados para projetos de barragens, construções viárias, fundações, aterros sanitários, etc.

O ensino de mecânica dos solos, de maneira geral, pode ser considerado desafiador. No caso da mecânica dos solos não saturados, as dificuldades tendem a ser ampliadas por diversos fatores. Como ponto de partida, pode-se citar a desatualização de livros-textos de mecânica dos solos, que geralmente trazem poucos conceitos sobre solos não saturados, deixando numerosas lacunas. Existe também, no caso específico de obras em língua portuguesa, a carência de livros-texto e didáticos dedicados exclusivamente ou mesmo parcialmente à mecânica dos solos não saturados. Outro fator importante é a falta de treinamento de muitos acadêmicos sobre o tema. Finalmente, deve-se também citar o fato de que currículos de cursos de engenharia possuem um espaço limitado, concorrido por diversas áreas.

A necessidade da introdução de conceitos de solos não saturados no ensino de graduação é, muitas vezes, revelada pela vivência dos(as) profissionais, que, logo nos primeiros anos de atuação passam a se deparar com problemas nos quais o lençol freático se encontra em grande profundidade. Ainda hoje, na Educação Superior de países de clima tropical, onde são frequentes os solos não saturados nas obras de engenharia, não é geralmente dada a devida importância para o estudo das propriedades e comportamentos nesse estado de saturação, pois o educar está carecendo de elos entre a educação e a prática profissional. A carência desses elos também ocorre, muitas vezes, na educação focada no ensino sobre as propriedades e comportamentos dos solos em estado saturado, fazendo com que o profissional passe a atuar, no caso de obras, como um simples técnico ou mesmo mestre de obras.

Os fatores que sustentam o cambaleante argumento de que não se dispõe das condições necessárias para a abordagem dos tópicos abrangendo as propriedades e os comportamentos dos solos não saturados são muitos, mas um deles, a inexistência de livros específicos sobre o tema na literatura brasileira, deixou de existir em 2015, com a publicação da primeira edição deste livro (Camapum de Carvalho *et al.*, 2015), fruto de um trabalho abnegado de muitos e muitas que decidiram contribuir para que ocorresse e que agora se ajusta a avanços ocorridos até esta segunda edição. Um outro livro de autoria do Professor Orencio Monje Vilar, sobre o tema, encontra-se em andamento e, com certeza, se ainda não publicado quando do lançamento da segunda edição deste livro, em breve, os profissionais e o meio acadêmico contarão com mais essa fonte enriquecedora de conhecimentos sobre as propriedades e o comportamentos dos solos não saturados.

Portanto, hoje, só existem argumentos favoráveis e convergentes para a necessidade de os países de clima tropical, onde as engenharias e outras formações profissionais lidam com solos em estado não saturado, colocarem a educação abrangendo esse tema como um dos objetivos dos cursos.

5. O ELO ENTRE OS SOLOS NÃO SATURADOS E OS SOLOS SATURADOS

O elo entre os solos em estado não saturado e saturado já se faz presente no próprio termo “estado”, pois, na natureza e em obras, como é o caso das barragens de terra, esse estado é, muitas vezes, transitório e/ou cíclico, fazendo com que o solo caminhe entre um estado e o outro. Por exemplo, no enchimento de uma barragem de terra, o solo passa do estado não saturado ao saturado e, durante sua vida útil, parte do maciço passa, em função de alterações no próprio nível do reservatório, a transitar de modo cíclico entre os estados saturado e não saturado. Em outras palavras, a condição saturada deverá sempre ser uma condição particular do solo, a qual deve ser adequadamente representada em teorias e abordagens de análise mais generalistas, que contemplam o solo na condição não saturada.

Entender as propriedades e os comportamentos dos solos, mais que simplesmente tomar conhecimento do que eles são, elimina barreiras entre os solos saturados e não saturados e mostram que, em sua essência, eles integram um todo cujas partes podem transitar de um estado para o outro de modo permanente ou cíclico. Nesse sentido, é importante que a transição da condição não saturada para a condição saturada e vice-versa em modelos de comportamento seja contínua, no sentido físico e matemático.

Além da transição geralmente suave entre os estados saturado e não saturado, é importante também perceber que os diversos fatores que controlam o comportamento do solo saturado permanecem tão ou mais relevantes quando o solo se encontra no estado não saturado. Iniciando-se pelas propriedades químico-mineralógicas de um solo, embora, com frequência relegadas a segundo plano, elas constituem-se em fator determinante do comportamento hidromecânico dos solos. Por exemplo, a expansão de um solo pode ser de cunho estrutural ou mineralógico e, para mitigá-la, é relevante, dentre outros, conhecer sua composição químico-mineralógica e o que pode provocá-la, lembrando que ela pode ocorrer tanto em um solo saturado por alívio das tensões ou trocas iônicas, como em um solo não saturado submetido ao aumento da umidade. Logo, conhecer essas propriedades é relevante para os dois domínios de atuação do solo: o saturado e o não saturado. Contudo, a importância do conhecimento dessas propriedades vai além desse exemplo, podendo ser ilustrada usando-se a própria presença de argilominerais expansivos no solo. A expansão ou contração desses argilominerais em si se dão, respectivamente, pela entrada e saída de água e cátions de seus espaços entre camadas, ou seja, diferentemente do geralmente considerado, tanto as variações de volume como as de umidade do solo como um todo não correspondem à efetiva variação dos vazios e da umidade definidora do comportamento do solo, como exemplificam Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021).

Exemplificando com propriedades físico-químicas dos solos, que, embora determinadas para o solo em estado saturado alcançam o comportamento dos solos não saturados, citam-se os resultados de curva de fluidez distintas, obtidas em ensaios de limite de liquidez por Ramírez (2016) para um solo natural e para o mesmo solo contaminado por chorume. A distinção dos dois resultados aponta para a influência da química do meio nas forças de adsorção e na sucção osmótica, sucção esta pouco lembrada quando se estuda o comportamento dos solos não saturados. Por exemplo, quando se estabiliza quimicamente um solo laterítico ou quando se concretiza uma estaca em perfil de solo não satura-

do profundamente intemperizado agregado surge, inicialmente, uma diferença na sucção osmótica entre o interior das agregações e o meio externo, fazendo com que parte dessa química introduzida no meio migre para o interior das agregações, podendo instabilizá-las, como mostrado por Ayala (2020) e Wanderlei Neto (2020).

Citando um exemplo prático, provas de carga sobre tirantes, realizadas por Silva *et al.* (2008), 32 anos após a construção de uma cortina atirantada construída em Brasília - DF e implantada em solo laterítico não saturado, apresentaram deformações residuais excessivas e pequenas tensões residuais nos tirantes. Os autores atribuíram esses comportamentos ao colapso do solo. Apesar de não se colocar em discussão essa conclusão, faz-se necessário entender o porquê desse colapso. Com fundamento nas análises realizadas por Ayala (2020) e Wanderlei Neto (2020), ele pode ser considerado como vinculado à migração química do concreto para o interior dos agregados, instabilizando-os e, por consequência, fragilizando a estrutura do solo circunvizinho aos tirantes. Tal fenômeno pode também ocorrer em solos saturados, por exemplo, quando da concretagem de estacas nas proximidades do lago artificial Paranoá, localizado no Distrito Federal. Embora aqui já não atuando a sucção matricial, as diferenças iniciais entre a sucção osmótica do concreto e do solo poderão levar à migração química suscetível de provocar instabilizações texturais e estruturais do solo circunvizinho à fundação. Portanto, o entendimento das propriedades, mais do que os resultados em si, pode assumir grande relevância nos estudos e projetos de obras de engenharia, incluindo as situadas no contexto dos solos não saturados.

Fazendo-se agora um elo entre propriedade puramente física e o comportamento de solos saturados e não saturados, exemplifica-se dando-se destaque à relevância da distribuição dos poros para o comportamento de ambos os solos. Admita-se um solo agregado apresentando macroporos entre as agregações e microporos no interior delas. Partindo-se de um solo saturado, quase que tão somente os poros interagregados são definidores do comportamento hidromecânico que apresenta. Indo para o comportamento dos solos não saturados, essa assertiva se repete. Um exemplo bastante simples é mostrado por Camapum de Carvalho (2017), em que, para maior clareza os agregados de solo, são substituídos por agregados oriundos de rejeitos da construção civil (RCD).

Adentrando-se no comportamento mecânico, os parâmetros de resistência dos solos saturados são definidos considerando-se o estado de tensões atuantes. No caso dos solos não saturados, embora outros fatores possam intervir no comportamento mecânico, assim como no caso dos saturados, esse estado de tensões mantém sua relevância, sendo ele, porém, ampliado por meio da atuação da sucção matricial. Percebe-se, então, recorrendo-se à linguagem mais poética, que as dificuldades se diluem nessa água presente nos dois solos, sendo perfeitamente possível e mesmo enriquecedor ter o entendimento mais amplo das propriedades e dos comportamentos dos solos, o que os torna, forçosamente, mais abrangentes, atingindo os solos em estado saturado e não saturado.

6. O ELO ENTRE O CONTEÚDO QUE SE ENSINA OU SE DEVERIA ENSINAR SOBRE OS SOLOS NÃO SATURADOS E A PRÁTICA GEOTÉCNICA

Destaca-se, inicialmente, que o tema prática geotécnica vai além da engenharia, como exemplificado neste capítulo. No campo socioambiental, o tema sobre solos não sa-

turados deve alcançar a sociedade como um todo e, no campo profissional, ele alcança diferentes formações. Desse modo, a sociedade deve ser educada para que evite ocupar locais de risco e, que mesmo ocupando locais de baixo risco, não seja ela a causadora de problemas. Por exemplo, ao promover a infiltração da água da chuva nas proximidades da edificação, além de poder gerar ascensões capilares nas paredes, ela pode ainda gerar recalques devido à perda de capacidade de suporte do solo, em especial, devido à diminuição da sucção mátrica. No caso mencionado, o problema teria sido evitado caso suas bases tivessem sido impermeabilizadas, sendo possível essa precaução ser posta em prática com fundamento na educação. Ainda nesse exemplo voltado para a sociedade, tanto os administradores como os ocupantes de uma determinada área devem avaliar os riscos da infiltração das águas servidas, pois esta pode, dentre outras questões, devido às alterações químicas do meio afetando a sucção osmótica, dar origem a ampliações nos recalques nas edificações e aterros ou mesmo em determinadas situações gerar subsidências em áreas mais amplas.

Caminhando-se ao encontro dos profissionais, serão dados alguns exemplos que mostram a importância da formação profissional, compreendendo-se conhecimentos sobre as propriedades e os comportamentos dos solos não saturados e, em muitas situações, a necessidade de uma atuação multidisciplinar, a qual requer abertura do pensar íntimo. Vale ressaltar que não se tem aqui a pretensão de se abranger todas as formações nem de, em cada uma delas, ter o alcance completo do tema.

Por exemplo, a vegetação ou revegetação de um talude geralmente tem dois grandes objetivos, melhorar as características visuais paisagísticas do local e proteger o solo contra processos erosivos, e esses costumam ser os focos centrais da ação. No entanto, tal ação requer não só conhecimentos sobre as vegetações e as condições de nutriente e hídricas do solo, relevantes para a sua perenidade, mas também o conhecimento sobre as propriedades e os comportamentos dos solos não saturados e as implicações das próprias vegetações adotadas, dos nutrientes incorporados ao solo e dos processos de irrigação sobre as condições hídricas e suas implicações no comportamento geomecânico do maciço. Esse é um domínio no qual o conhecimento das propriedades e dos comportamentos dos solos não saturados tem alcance multidisciplinar, requerendo, de preferência, certa dose de transdisciplinaridade. Por exemplo, o perecimento da vegetação em trechos altimétricos dos maciços geralmente se dá em consequência de elevados níveis de sucção, alcançados devido às condições de fluxo, que são afetadas pela composição dos solos do maciço e por sua geomorfologia de superfície e subsuperfície, o que frequentemente requer atuações interdisciplinares.

Um outro exemplo diz respeito aos próprios estudos voltados para a elaboração dos projetos geotécnicos de engenharia, que devem ter por foco, pelo menos, dois aspectos básicos: a segurança e a economia. Conforme verificado na Figura 2, de modo geral, mas nem sempre, a redução ou ampliação da segurança implica impactos nos custos até porque é possível ampliar muito pouco os custos iniciais na fase de estudos com alto impacto na segurança e nos próprios custos globais da obra. Essa relação custo dos estudos preliminares da segurança da obra quase nunca é, embora possa ser, linear. Por exemplo, pequenos investimentos iniciais em estudos das propriedades e dos comportamentos dos solos a serem usados em estado não saturado em estruturas de pavimento possibilitam a

otimização do projeto e a redução nos custos de manutenção por problemas gerados por contrações e expansões do solo, oriundas de variações na sucção.

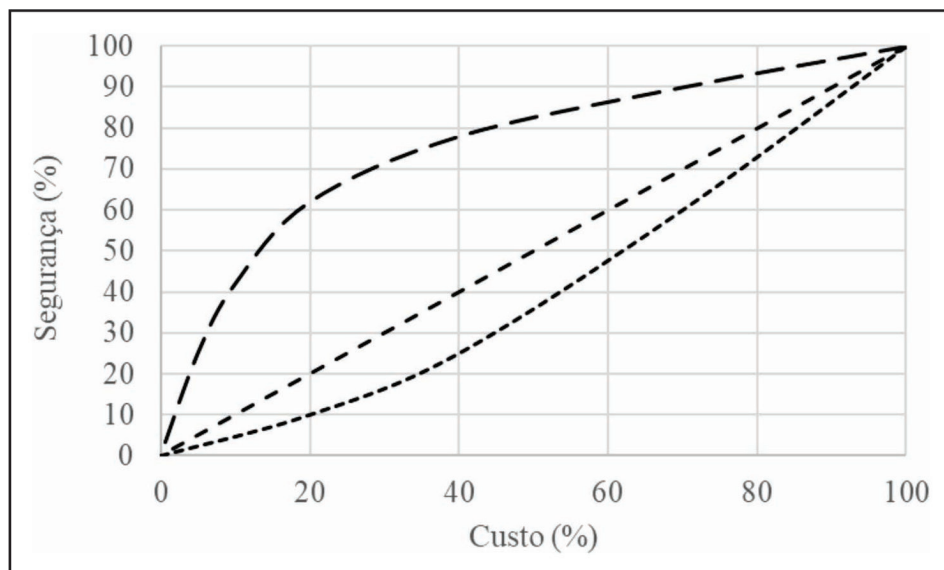


Figura 2 – Relação Custo x Segurança em estudos destinados a projetos de engenharia

Nas sondagens realizadas objetivando a construção de aterros e edificações, a definição dos perfis de umidade e a avaliação de sua dinâmica temporal afetada, em alguns casos, pela própria implantação da obra, em nada ou quase nada oneram os custos. Essa definição e avaliação da dinâmica temporal da umidade do perfil de solo é de suma importância, pois, nos mantos não saturados, ela permite avaliar as implicações na sucção e, por consequência, na capacidade de suporte do maciço, e, no manto saturado, ela permite a determinação, ainda que em caráter estimativo, da porosidade do solo, tão relevante em avaliações de recalques.

Cabe destacar que o ensino dos conteúdos sobre solos não saturados e a prática geotécnica deve ir além dos estudos preliminares e alcançar o próprio projeto, execução e manutenção das obras, pois, do contrário, eles a nada serviriam. Ademais, com todos os recursos computacionais e de acompanhamento das obras hoje disponíveis, desconsiderar o estado não saturado do solo em países de clima tropical, como o Brasil, é renunciar os conhecimentos disponibilizados, como os presentes neste livro, e renunciar a possibilidade de se tornarem exímios profissionais, sempre oferecendo mais segurança e economia para a sociedade.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um único parágrafo nessas considerações finais compõe a essência deste capítulo e sua relevância:

Aproveitem ao máximo o conteúdo deste livro e, sempre que possível, ampliem os seus acervos pessoais e publicizados, pois isso os tornará profissionais mais eficientes e realizados no cumprimento de suas responsabilidades técnicas, sociais e ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todas as autoras e a todos os autores de capítulos deste livro por terem se constituído na razão deste capítulo e a empresas, entidades profissionais, órgãos de fomento e instituições de ensino por contribuírem para que conteúdos como o deste livro sejam colocados ao alcance de estudantes e profissionais de engenharia e da sociedade como um todo.

REFERÊNCIAS

AYALA, R.J.L. (2020). Melhoria de solos com fibras provenientes da indústria avícola. Brasília: Tese de Doutorado, G.TD-159/2020, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 272 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>

CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2017). Solo como material de Construção. In Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Ed. G.C. Isaia, 3ª ed. São Paulo, IBRACON. Vol. 1, pp. 538-574.

CAMPAPUM DE CARVALHO, J. & GITIRANA JR., G.P.N. (2021). Unsaturated soils in the context of tropical soils. In: *Soils and Rocks*, 44(3). www.soilsandrocks.com

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; LELIS, A.C. (2006). Cartilha Meio Ambiente: Erosão. Brasília: Universidade de Brasília, FINATEC, 26 p.

LELIS, A.C. & CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2011). Cartilha Meio Ambiente: Infiltração. Brasília: Universidade de Brasília, Editora FT, Série Geotecnia, v. 3, 47 p.

RAMÍREZ, A.Q. (2016). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en las propiedades geotécnicas de un suelo tropical. Medellín: Dissertação de Mestrado, Universidade Nacional da Colômbia, Faculdade de Minas, Departamento de Engenharia Civil.

RIBEIRO, P.A.; CRUZ, J.S.; CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M.M.; MASCARENHA, M.M.A.; LUZ, M.P. & ANGELIM, R.R. (2016). Cartilha Meio Ambiente: Erosão em Borda de Reservatório. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Série GECON, v. 2, 33 p.

SILVA, C.M.; CORDÃO NETO, M.P.; RIBEIRO, L.F.M. & SOARES, E. (2008). Perda da capacidade de carga de tirantes executados na argila porosa de Brasília. Proc. XIV

Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. ABMS, Búzios, pp. 367-372.

WANDERLEY NETO, R.V. (2020). Estudo experimental de interfaces solo-concreto no contexto de solos não saturados. Brasília: Dissertação de Mestrado G.DM. – 344/2020, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 183 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>