

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Olhar Voltado Para o Simples Quando se Busca Entender Certas Peculiaridades Geotécnicas

José Camapum de Carvalho

Professor Titular, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, camapumdecarvalho@gmail.com

RESUMO: O objetivo maior do artigo é mostrar a possibilidade de se entender certas situações geotécnicas *a priori* complexas, a partir do simples. Quase sempre se busca priorizar unicamente, seja em nível de pesquisa, seja no campo aplicado, estudos e análises fundamentados em teorias e técnicas com alto grau de complexidade sem que se busque, inicialmente, o entendimento da situação. O artigo mostra, a partir de modelos físicos e numérico simplificado, concebidos com o olhar voltado para o simples, ser possível o entendimento de determinadas propriedades e comportamento dos solos, assim como de problemas com os quais o engenheiro geotécnico se depara ao longo de sua vida profissional. Partir do simples para o entendimento de certos problemas de engenharia constitui-se, muitas vezes, o melhor caminho para se chegar a soluções otimizadas quanto ao tempo e ao custo, aprofundando-se oportunamente nos aspectos técnicos e teóricos. Cabe lembrar que a atuação do engenheiro(a) com engenhosidade requer conhecimento, observação e reflexão, e o entendimento a partir do simples já é uma engenhosidade.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos físicos, Expansão, Umidade, Índice de vazios, Tensões.

ABSTRACT: The main objective of the paper is to show the possibility of understanding certain *a priori* complex geotechnical situations, starting from the simple. Always one seeks to prioritize solely, whether at the research level or in the applied field, studies and analyzes based on theories and techniques with a high degree of complexity, without initially seeking to understand the situation. The paper shows, based on simplified physical and numerical models, conceived with an eye towards the simple, that it is possible to understand certain properties and behavior of soils, as well as the problems that the geotechnical engineer faces throughout his professional life. Starting from simple to understanding certain engineering problems is often the best way to arrive at timely and cost-optimized solutions, delving into technical and theoretical aspects in due course. It is worth remembering that the work of the engineer with ingenuity requires knowledge, observation, reflection, and understanding from a simple point of view.

KEYWORDS: Physical Models, Expansion, Humidity, Void Index, Stresses.

1 Introdução

A boa prática da Engenharia Geotécnica requer conhecimento, observação, reflexão, entendimento e decisão, já para analisar e entender os problemas geotécnicos a partir do simples requer a conjugação dos três primeiros fatores.

O artigo tem por objetivo mostrar que, em certos casos, pode ser relevante iniciar as análises dos problemas, elaboração de projetos e execução de obras geotécnicas a partir do entendimento gerado pelo olhar voltado para o simples. Destaca ainda que situações adversas podem requerer do engenheiro a prática da engenhosidade para solucionar problemas, devendo ele, no entanto, sempre estar atento às questões de segurança e margem de precisão das soluções adotadas. Nesse sentido, relata-se, no parágrafo a seguir, um caso, no mínimo, interessante, com solução criativa e simples.

Em 2002, o Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília foi solicitado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação a emitir, com certa urgência, um laudo de avaliação de obras de infraestrutura rodoviária do acesso à reserva de Mamirauá, Tefé, estado do Amazonas. Para auxiliar nos estudos, foi convidado o Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Amazonas, que, além de realizar os ensaios de laboratório, enviou um técnico ao local para que fizesse a coleta de amostras e realizasse ensaios de frasco de areia e teor de umidade para o controle da compactação que havia sido realizada. A localidade fica a, aproximadamente, 600 km de Manaus e o traslado se dava por via aquática. O técnico, no entanto, ao



chegar ao local, constatou que havia esquecido o frasco de areia. Dada a urgência do serviço o Laboratório de Geotecnia, foi imediatamente contactado, via telefone, para decidir como proceder. Orientou-se, então, o técnico a substituir o frasco de areia por pequeno saco plástico flexível e que se adaptasse bem ao furo escavado quando fosse enchido com água. Nesse caso, substituiu-se a areia normalmente usada no enchimento do volume de solo escavado por igual volume de água colocado em saco plástico no interior do furo, tendo sido adotada 1gf/cm^3 para a densidade da água. Portanto, essa foi uma solução simples, criativa e de cunho prático, possibilitando a solução de um inesperado problema.

Não se pretende aqui desvalorizar o conhecimento técnico-científico, as tecnologias desenvolvidas e a experiência profissional, embora seja oportuno lembrar que estes sempre estão em construção, e sendo assim, o entendimento das situações fáticas assume grande relevância e podem se constituir em molas propulsoras.

O artigo adota como metodologia o uso de modelos físicos simples para a construção do entendimento de certas propriedades e comportamentos dos solos, assim como de situações de projeto e execução de obras. A ideia não é definir a partir desses modelos técnicas voltadas para simplificações de problemas complexos, mas sim mostrar, por meio deles, que a engenhosidade pode conduzir à formulação de entendimentos a partir do simples, facilitando estudos que sejam mais elaborados. Serão mostrados modelos físicos simples, mas é perfeitamente possível se recorrer a modelagens numéricas, como se exemplificará, e a técnicas de modelagem física mais sofisticadas, como o uso da centrífuga na construção dos entendimentos de situações complexas à primeira vista.

Serão utilizados, no artigo, modelos físicos e uma modelagem numérica simplificada, concebidos com foco para o simples para que se entendam resultados de ensaios de laboratório, a ruptura de um talude de escavação e a interação solo-atmosfera. Os resultados serão apresentados, principalmente, em forma de imagens e determinações paramétricas, de modo a mostrar que, efetivamente, em muitos casos, é possível entender certos problemas de engenharia a partir do simples e que tal entendimento pode conduzir a estudos mais aprofundados de modo otimizado. Apesar da importância das abordagens apresentadas para ações técnicas mais apropriadas, sua valorização requer humildade do profissional e que se renuncie ao pensar e comportar de modo ortodoxo para que se possa usufruir da necessária liberdade profissional no agir.

Embora vários exemplos possam ser elaborados, este artigo se fundamentará em três situações: uma voltada para o entendimento do comportamento nos solos expansivos em laboratório; outra voltada para a análise de uma ruptura de taludes; e a terceira buscando realçar a importância da interação solo-atmosfera.

Como conclusão, o artigo mostra ser, em muitas situações, possível entender problemas complexos a partir de modelos simples, bastando usar de engenhosidade e valorizar a humildade sem que se abandone ou se tornepositor às teorias e às normas existentes e ao uso de métodos sofisticados de análises.

2 Por que e como Considerar a Expansão Mineralógica

O porquê é facilmente compreensível, pois vários são os problemas na área geotécnica oriundos da expansão mineralógica dos solos, no entanto, o como considerar tem sido insuficiente, em especial em termos do entendimento do fenômeno, uma vez que a expansão mineralógica não corresponde, em sua globalidade, à ampliação do volume de vazios presente no solo. O entendimento da porosidade e da distribuição de poros é importante não só quando o solo possui argilominerais expansivos, mas também no caso de materiais agregados contendo porosidade interna. Em algumas situações, a visualização é simples, mas, em outras, requer análises mais elaboradas, por exemplo, o uso de microscopia eletrônica de varredura, como exemplifica a Figura 1, na qual são mostradas concreções lateríticas com porosidade interna facilmente perceptível (a) e um solo laterítico fino (b), cujas microagregações e seus poros internos requerem análises microscópicas para que sejam visualizados (c) (Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV). Mas por que simples imagens como estas seriam relevantes? Elas o são, pois colocam em evidência poros internos aos agregados e microagregados que não contribuem ou contribuem pouco para o comportamento hidromecânico dos solos como geralmente considerado. Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021) destacam a importância de se considerar a distribuição de poros em materiais como estes quando se analisa o comportamento hidromecânico.

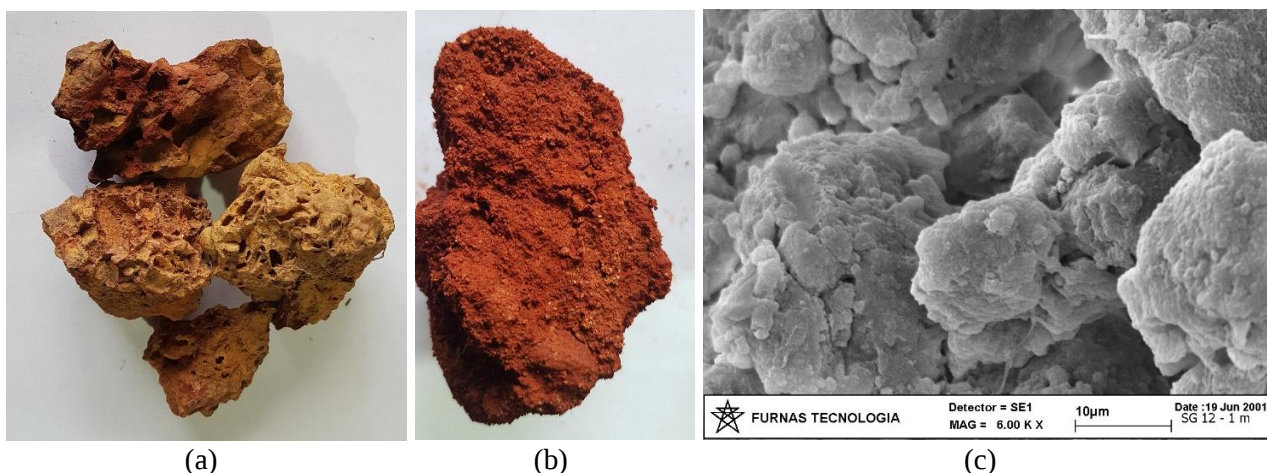


Figura 1. a) Concreções lateríticas; b) solo laterítico fino; c) imagem de solo laterítico feita no MEV, aumento 6.000 X

Os argilominerais expansivos geralmente se fazem presentes nos solos menos intemperizados e, para melhor entendimento de suas propriedades e comportamentos, faz-se necessário, em geral, recorrer a análises químico-mineralógicas e microscópicas, o que torna oportuna a discussão apresentada neste artigo por possibilitar uma visualização da situação com base no simples.

Destaca-se, inicialmente, que o solo pode apresentar expansão mineralógica e/ou estrutural, assim como ele pode expandir devido à alteração no estado de tensões ou aumento de umidade, mas cabe aqui um parêntese: no caso dos solos profundamente intemperizados, porosos, esses dois fatores podem dar origem ao colapso estrutural do solo e não à sua expansão.

A expansão estrutural se dá com um aumento de volume interpartículas, possibilitando o equilíbrio de forças entre elas. Já a expansão mineralógica gera um aumento de volume intrapartículas por meio da ampliação da distância interplanar basal, possibilitando o equilíbrio de forças internas. Geralmente, a expansão mineralógica proporciona também uma expansão estrutural, pois as partículas, ao aumentarem de volume, ampliam os espaços entre elas.

A expansão puramente estrutural guarda uma relação direta e equivalente entre a variação de volume total e a variação do volume de vazios, mantendo-se o volume de sólidos constante. Já a expansão mineralógica impõe ao solo uma variação de volume total superior à variação do volume de vazios, tendo em vista que parte da expansão se dá pela ampliação do volume das próprias partículas com o aumento da distância interplanar basal, o que, por consequência, também proporciona uma ampliação do volume de sólidos. Com isso, cabe um adendo: como o aumento do volume de cada partícula que expande se deve à entrada de água entre as camadas e sendo a densidade real dos sólidos desidratados superior à densidade da água, por consequência, tem-se, com a hidratação, a redução da densidade dos sólidos, que pode ser intitulada como densidade de sólidos aparente. Esse adendo é muito importante, pois, dentre outros, interfere diretamente na análise de resultados dos ensaios de sedimentação, como exemplificado por Camapum de Carvalho *et al.* (2019).

Considerando-se, portanto, que a variação do volume de vazios devido à expansão mineralógica do solo é inferior à variação de volume global, correlacionar a variação de comportamento devido à expansão com a variação de volume global como se este equivallesse a variação do volume de vazios não deve ser entendida como a melhor opção, embora seja em muitos casos, devido à sua simplicidade a alternativa escolhida. Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021) ilustram a importância de se considerar o volume de vazios efetivo quando se trata de solos expansivos, ou seja, nesses solos, a variação de volume global não corresponde efetivamente à variação do volume de vazios, devendo dela ser deduzida a variação de volume devido à ampliação da distância interplanar basal. Outro aspecto relevante diz respeito ao fato de que a ampliação da quantidade de água no solo, geradora da sua expansão mineralógica, não pode ser entendida como acréscimo de umidade interveniente no comportamento hidromecânico, pois ela não estará interferindo em sua totalidade no comportamento interpartículas.

A seguir, utiliza-se de um exemplo simples para mostrar a importância do explanado com fundamento teórico no referido artigo (Camapum de Carvalho *et al.*, 2019), no qual é também apresentada em caráter ilustrativo a variação da distância interplanar basal em função do teor de umidade para uma bentonita oriunda



do estado da Paraíba. No exemplo simples a ser apresentado, recorre-se ao uso do feijão, por permitir visualizar o que não seria possível olhando-se a olho nu os solos finos contendo argilominerais expansivos, como é o caso da bentonita, pois isso só seria possível mediante o uso de microscopia e raios x.

2.1 Materiais e Métodos

Buscando-se fazer um paralelo com a expansão dos argilominerais, optou-se, considerando-se a simplicidade, fazer uso de grãos de feijão por serem visíveis a olho nu e facilmente perceptível a porosidade entre eles e a própria expansão que apresentam com a hidratação.

Nesse exemplo, os grãos de feijão simbolizam as partículas de argilominerais expansivos sem que se faça ou se busque fazer um elo entre formatos e composição químico-mineralógica, mas tão somente ao fenômeno da expansão. O paralelo se dará considerando-se as variações volumétricas registradas no feijão como simbolizando aquelas oriundas da ampliação da distância interplanar basal que ocorre com a hidratação dos argilominerais expansivos, como é o caso da esmectita.

Dada a situação gerada pela pandemia do COVID-19, impondo restrições quanto ao uso do laboratório da universidade, todo o experimento foi realizado no âmbito doméstico, servindo-se dos utensílios e equipamentos disponíveis.

A Figura 2 apresenta os materiais usados no experimento: uma concha, um copo, uma xícara para colocar água potável filtrada, uma balança com precisão de 1 gf, o feijão carioca utilizado e caneta e papel para as anotações das pesagens. Além desses itens, usaram-se toalhas de papel para enxugar os grãos de feijão após os períodos de submersão para hidratação e um forno elétrico regulado a 110 °C para fazer, quando necessária, a secagem do feijão.



Figura 2. Materiais utilizados nos experimentos.

Antes do início dos ensaios, foi determinada a umidade higroscópica do feijão, fazendo-se uso do forno elétrico regulado a 110 °C e pesagens sucessivas até constância de peso, obtendo-se o valor médio de 13,8%. Foram realizados 8 ensaios. Inicialmente, pesou-se o copo seco ao ar (Figura 2a) e o copo com água até o nível vermelho existente no copo. Em seguida, removeu-se a água do copo e, após ser seco, acrescentou-se a ele 60 gf de feijão (Figura 2b). Como etapa seguinte, nivelou-se o feijão com uma taça e sem impor força e vibração (Figura 2c). Feito isso, colocou-se água no copo contendo o feijão até atingir o seu nível superior e pesou-se (Figura 2d). Em seguida acrescentou-se água no copo até atingir o traço vermelho existente no copo e pesou-se (Figura 2e). Feita a preparação, cobriu-se o copo com filme plástico, ficando este em repouso por 12h e monitorando-se a expansão de modo simples por meio de marcas no copo (Figura 2f), tendo sido verificada a estabilização após um período de 12h de hidratação. Com o procedimento inicial, determinou-se o peso e o volume do feijão na umidade higroscópica e o volume de vazios existente entre eles. Tomou-se cuidado com relação à uniformidade no tamanho dos grãos de feijão, eliminando-se grãos muito pequenos ou quebrados, cabendo destacar que uma argila, mesmo um caulim ou uma bentonita, apresenta certa variação no tamanho das partículas.

Após o período de repouso de 12h, verificou-se o peso do copo com água e feijão, sendo este, assim como o nível d'água, mantidos. Removeu-se a água até atingir o nível do feijão e efetuou-se nova pesagem. Em seguida, removeu-se o restante da água; enxugou-se o feijão, sendo ele retornado ao copo e pesado. Depois, fez-se novamente o seu nivelamento e procedeu-se a colocação de água até atingir o seu nível superior e pesou-se. Feito isso, completou-se a água até a marca vermelha existente no copo, fazendo-se nova pesagem seguida



de cobertura com o filme plástico e manutenção imerso por mais 12h, tempo após o qual se fizeram novas pesagens, não tendo sido observado ganho de umidade pelo feijão.

O procedimento adotado no parágrafo anterior objetivou as determinações do volume dos grãos de feijão hidratados (Figura 2f) em relação ao desidratado (Figura 2c), o volume de vazios entre eles e o ganho de peso dos grãos de feijão em consequência da hidratação.

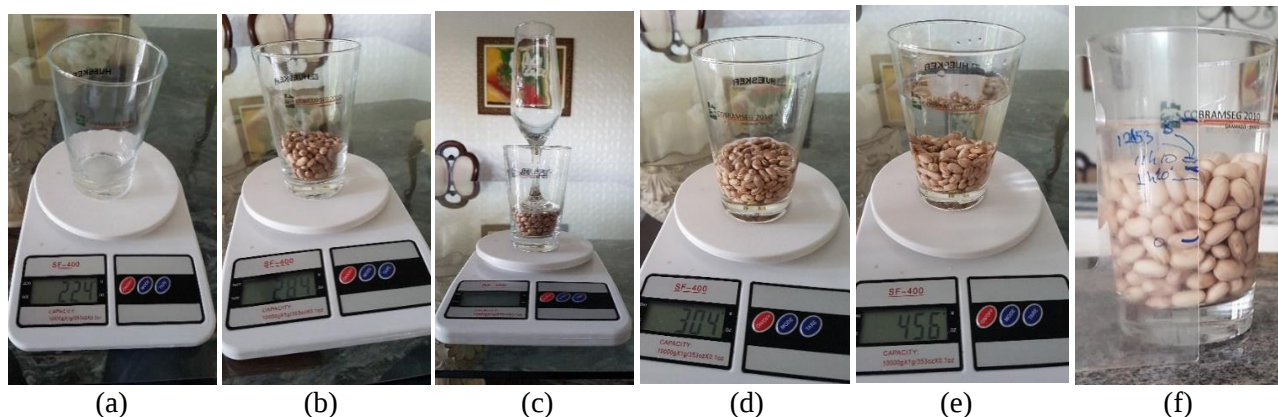


Figura 2. Etapas iniciais do ensaio usando o feijão.

2.2 Resultados Obtidos

O feijão utilizado apresentou umidade higroscópica média igual 13,8 %, densidade real hidratada média igual a 10,9 kN/m³ e seca igual a 11,1 kN/m³. Esses valores são semelhantes a outros reportados na literatura para outros tipos de Feijão. Por exemplo, Lanaro *et al.* (2011) encontraram, para o feijão fradinho por eles estudado, uma umidade de 11,8%. Segundo os autores, os resultados obtidos encontram-se nas faixas de valores reportadas por Olapade *et al.* (2002) para variedades nigerianas de caupi (cowpea), para os quais a densidade real variou entre 10,3 e 11,7 kN/m³ e o teor de umidade entre 11,4% e 12,6%, cabendo lembrar que a umidade do feijão, assim como nos solos, é função da interação com a atmosfera. Portanto, mesmo utilizando-se equipamentos e utensílios simples, os resultados obtidos para esses parâmetros indicam sua representatividade.

Embora se tenha buscado monitorar a expansão dos grãos de feijão com a hidratação, os resultados serão apresentados comparando-se o estado inicial e final conforme mostrado na Tabela 1. Chama-se a atenção, nessa tabela, para os resultados de umidade (w), peso específico aparente seco (γ_d) e índice de vazios (e), pois são parâmetros comumente utilizados quando se analisam os comportamentos dos solos. Para a análise desses parâmetros, adotou-se “o” para inicial, “f” para final, “global” como o conteúdo geralmente considerado na engenharia geotécnica, e “efetivo” aquele conteúdo que efetivamente contribui para as propriedades e comportamento hidromecânico.

Tabela 1. Resultados obtidos para o feijão carioca utilizado

Parâmetro	Resultados médios	Parâmetro	Resultados médios
Gs (kN/m ³)	10,9	w _o (%)	66,2
w higroscópico (%)	13,8	w _f global (%)	352,0
Ps _o (seco), (gf)	52,7	w _f efetivo (%)	71,0
Ps _f (hidratado), (gf)	174,0	γ_{d_o} (kN/m ³)	6,3
Vs _o (seco), (cm ³)	47,5	γ_{d_f} global (kN/m ³)	2,2
Vs _f (hidratado), (cm ³)	168,8	γ_{d_f} efetivo (kN/m ³)	7,3
Vv _o (seco), (cm ³)	42,2	e _o	0,87
Vv _f (global), (cm ³)	185,6	e _f global	3,91
Vv _f (efetivo), (cm ³)	71,6	e _f efetivo	0,42

Para facilidade de entendimento, serão analisados os parâmetros umidade e índice de vazios por serem usados com frequência na engenharia geotécnica. Quando se analisam a umidade e o índice de vazios que



caracterizam determinado solo, consideram-se, geralmente, os pesos ou massas secas, os volumes de sólidos desidratados, o volume de vazios correspondente ao volume total menos este volume de sólidos e o peso ou massa de água total que o material apresenta. No entanto, essa umidade global e esse índice de vazios global são em muito superiores à umidade e índice de vazios que efetivamente contribuem para as propriedades e comportamentos dos solos contendo agregados com porosidade interna, como os solos lateríticos, e os solos contendo argilominerais expansivos, como certos solos tropicais pouco intemperizados e as bentonitas (Camapum de Carvalho e Gitirana Jr., 2021). Nessas situações, faz-se necessário que se considere a umidade e os vazios que efetivamente contribuem para as propriedades e comportamentos dos solos.

Usando-se o exemplo do feijão, observa-se, na Tabela 1 que a umidade global geralmente considerada (352%) é muito superior à umidade que efetivamente contribui para as propriedades e comportamento do material (71%). Observando-se os resultados de índice de vazios, verifica-se, na Tabela 1, que o global (3,91) é muito superior ao efetivo (0,42). Em termos de índice de vazios, pode-se perguntar como é possível o índice de vazios efetivo obtido após a expansão do feijão ser inferior ao inicial antes de sua expansão. Isso se deve ao fato de que, embora o volume de vazios efetivo ($71,6 \text{ cm}^3$) tenha aumentado em relação ao volume de vazios inicial anterior à expansão ($41,2 \text{ cm}^3$), o aumento do volume sólido foi mais importante passando do valor inicial de $47,5 \text{ cm}^3$ para $168,8 \text{ cm}^3$, o que explica o resultado obtido.

A avaliação da questão da expansão dos solos contendo argilominerais expansivos, dada a sua complexidade e relevância, ainda requer, para uma análise acurada, maior desenvolvimento técnico-científico, pois mesmo as análises apresentadas por Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021), apesar da clareza no entendimento, abrigou simplificações como as relacionadas ao tamanho e número de camadas dos argilominerais. O exemplo do feijão mostra, contudo, a necessidade de se mudar o entendimento hoje adotado quando se avalia a umidade e a porosidade dos solos mineralogicamente expansivos, deixando-se de lado os parâmetros globais e considerando-se os efetivos, pois são eles que definem o comportamento.

3 Relevância da Geomorfologia na Engenharia Geotécnica

O impacto da geomorfologia nos projetos e execução de obras geotécnicas não raro é relegado a segundo plano, no entanto, ela interfere diretamente no comportamento do maciço por meio de fatores como distribuições de tensões e de umidade, nível freático e equilíbrio de umidade solo-atmosfera. A sua não consideração tem levado a se trabalhar dentro de uma percepção bidimensional quando se projetam e executam obras geotécnicas. Na sequência, busca-se, por meio de análises simples, entender a sua relevância.

3.1 Exemplo de Caso de Ruptura de Talude e Modelos Geomorfológicos Simples

A Figura 3a apresenta a fotografia de um talude de escavação localizada no Distrito Federal, o qual rompeu no trecho côncavo. Essa escavação objetivava abrigar uma galeria de águas pluviais, possuía 12 m de profundidade e o perfil de solo era constituído por um manto de intemperismo tropical com nível d'água a 9 m de profundidade. A obra foi embargada e necessitava de uma solução rápida para a sua continuidade.

As análises de estabilidade de taludes bidimensionais definiam um coeficiente de segurança pequeno, mas superior a 1. Decidiu-se, dada a urgência, fazer análises tridimensionais simplificadas conforme apresentado por Camapum de Carvalho *et al.* (2007), pois se buscava entender as causas da ruptura. Consideraram-se, então, dois caminhos: um modelo físico (Figura 3b) e uma análise numérica (Figuras 3c aplicada a um talude convexo, e 3d aplicada a um talude côncavo).

O modelo físico concebido guardando proporcionalidade com a geometria da obra e usando-se o solo que a compunha no trecho mais intemperizado com porosidade e umidade iniciais similares (Figura 3b) permitiu constatar a presença de maior umidade no trecho côncavo que no convexo e valor intermediário no trecho linear.

No modelo numérico, incluiu-se o nível freático a 9 m de profundidade e, para maior simplicidade em sua elaboração, optou-se por trabalhar com geometria cúbica. A Figura 3c, representando o formato convexo, indicou, nas análises, um rebaixamento do nível freático na parte central do maciço, assim como uma redução no teor de umidade nessa zona quando situada acima no nível freático. Já a Figura 3d, correspondendo ao formato côncavo, indicou a elevação do nível freático e maiores umidades na zona central do maciço. As

análises em termos de tensões apresentam um comportamento inverso a este, com um relaxamento das tensões na parte central do talude convexo e uma concentração de tensões no concavo.

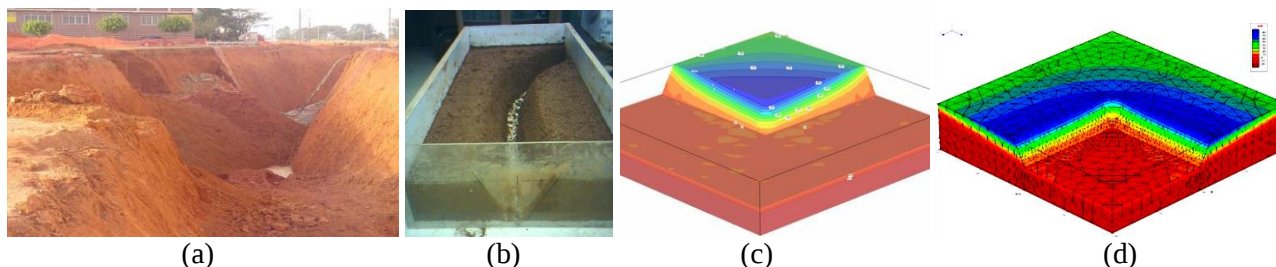


Figura 3. Talude côncavo rompido e modelos concebidos para análise.

As análises simplificadas feitas por meio dos dois modelos permitiram identificar como causa da ruptura a geomorfologia do corte, que implicava maior umidade no trecho concavo, resultando em menor sucção e, portanto, em pior comportamento mecânico, sendo o problema ampliado com a relaxação das tensões nessa forma de talude.

Essas análises com o olhar voltado para o simples mostram a relevância de se considerar a geomorfologia nas obras geotécnicas e, em outras situações, como as de evolução das ravinas e voçorocas e a de estabilidade de encostas, sendo recomendável, nesses casos, o uso de análises tridimensionais.

O exemplo apresentado realçou a relevância de se analisar o impacto da geomorfologia no que está ocorrendo no maciço, mas é importante considerar que esse maciço está continuamente em processo interativo com a atmosfera, podendo passar por maiores umedecimentos ou secagens em função não só da geomorfologia, como também de sua orientação em relação à incidência do sol e dos ventos predominantes. A umidade do solo, conforme já comentado, impacta diretamente na sucção nele atuante e, por consequência, na sua resistência e mesmo no seu processo de intemperização de curto prazo.

Para ilustrar a partir do simples a interação solo-atmosfera, tema abordado de modo bastante completo em Luiz (2012), ao estudar solos da cidade de Goiânia, será apresentado um exemplo envolvendo o cotidiano das pessoas. O exemplo se fundamentará nas razões pelas quais um pão francês (Figura 4a, representando um solo mais poroso e inicialmente úmido, Figura 4b) endurece ao ser exposto às condições atmosféricas e uma bolacha água e sal (Figura 4c, representando um solo menos poroso e ressecado, Figura 4d) amolece.

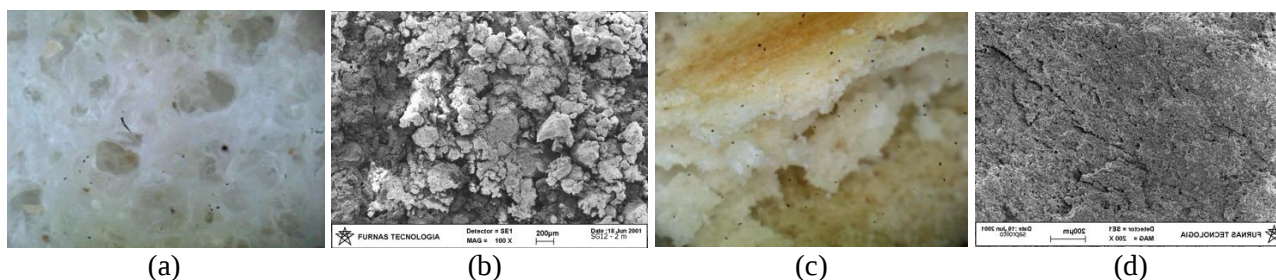


Figura 4. Microestruturas: a) pão; b) solo laterítico; c) bolacha; d) solo saprolítico.

Na Figura 5a, são apresentadas as curvas características de retenção de água obtidas para o pão e para a bolacha, e, na Figura 5b, como varia a resistência de um solo em função da sucção em pF dividida pelo índice de vazios. Na Figura 5a, foram lançadas as umidades determinadas para o pão e para a bolacha em seus respectivos estados inicial e após interagir com a atmosfera. Nessa interação, o pão, que estava inicialmente úmido, perdeu umidade, e a bolacha, que se encontrava seca, ganhou umidade. A Figura 5b, obtida para solo, se analisada conjuntamente com a Figura 5a, obtida para o pão e a bolacha, considerando-se o impacto da umidade na sucção e desta na resistência, explica por que o pão endurece e a bolacha amolece na interação com a atmosfera – esse é exatamente o mecanismo que ocorre com o solo. Assim, desenvolver o senso de observação é algo muito importante para o engenheiro, assim como, por meio da engenhosidade, buscar o entendimento a partir do simples.

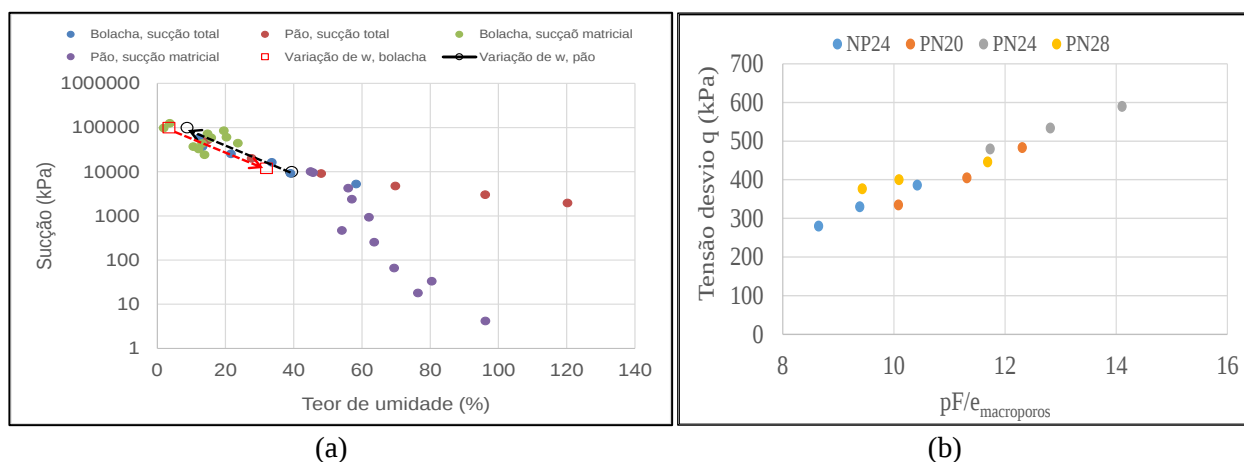


Figura 5. a) Curvas características de retenção de água do pão e da bolacha; b) resistência em função de pF/e

4 Considerações Finais

A abordagem feita neste artigo objetivou mostrar que, com o olhar voltado para o simples, um bom nível de conhecimento, um sentido de observação aguçado e o exercício da reflexão, é possível se chegar ao entendimento de alguns problemas de engenharia em princípio percebidos como complexos. É verdade que situações como a relativa à expansibilidade mineralógica dos solos e o impacto da geomorfologia no comportamento dos maciços aqui abordados com o olhar voltado para o simples ainda requer ampliação no desenvolvimento técnico-científico para que se torne mais aplicável na Engenharia Geotécnica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq, à CAPES, à FAP-DF e a todos(as) que atuaram comigo nos projetos de pesquisa que ajudaram a consolidar o conteúdo aqui exposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camapum de Carvalho, J.; Gitirana Jr., G. P. N. (2021). Unsaturated soils in the context of tropical soils. In: *Soils and Rocks*, 44(3), 25 p. www.soilsandrocks.com
- Camapum de Carvalho, J.; González, Y.V.; Santos, M.A.A.; Gitirana Jr., G. P. N. (2007). Estabilidad de un talud cóncavo considerando condiciones en 3D. In: *XIII Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*, Isla de Margarita: SVDG e ISSMGE, p. 988-993.
- Camapum de Carvalho, J.; Silva, F.C.; Barreto, P.N.M.; Pérez, A.C.; Guimarães, R.C.; Oliveira, R.B. (2019). Aspectos Químico-Mineralógicos e as Propriedades e Comportamento dos Solos Expansivos. In: *GeoBASE - 2º Seminário Geotécnico Bahia/Sergipe*, ABMS, p. 277-286.
- Lanaro, N.; Bajay, L.G.; Quiroz, V.M.P.; Pinto, R.C.S.; Leitão, I.G.A.; Lessio, B.C.; Augusto, P.E.D. (2011). Determinação de propriedades físicas do feijão fradinho. In: *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 27-35.
- Luiz, G. C. *Influência da relação solo-atmosfera no comportamento hidromecânico de solos tropicais não saturados: estudo de caso - município de Goiânia-GO*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 2012, 336 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Olapade, A. A.; Okafor, G. I.; Ozumba, A. U.; Olatunji, O. (2002). Characterization of common Nigerian cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) varieties. In: *Journal of Food Engineering*, v. 55, p. 101-105.