

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

Prática da Engenharia Geotécnica no Contexto dos Solos Tropicais

José Camapum de Carvalho

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

RESUMO: O artigo contextualiza os estudos de propriedades e comportamento dos solos tropicais em relação ao meio ambiente e a obras geotécnicas, indo dos estudos preliminares à execução. Nele é feita, por meio de exemplos, uma análise crítico-constructiva, mostrando a importância de, em muitos casos, considerar-se as peculiaridades dos solos tropicais e as próprias características das obras. O artigo se reveste de importância devido ao fato de que, quase sempre, estudos, projetos e execuções das obras geotécnicas e mesmo suas manutenções ao longo de suas vidas úteis estarem nos países de clima tropical, como é o caso do Brasil, fundamentados nos conhecimentos e experiências construídos em países de clima frio e temperado. O artigo tem por objetivo contribuir para a construção de uma consciência profissional liberta da cultura tradicional, que, em muitos casos, tem sido seguida sem maiores reflexões nos países de clima tropical. As abordagens feitas buscaram abranger aspectos temporais e espaciais, ambos de suma importância nos estudos preliminares, nos projetos e na execução e manutenção de obras em regiões de clima tropical. As análises ao longo do artigo foram conduzidas com o objetivo de mostrar a importância de se considerarem as propriedades e os comportamentos dos solos submetidos a processos de intemperização nos estudos preliminares, na elaboração de projetos e na execução e manutenção de obras em países de clima tropical.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios, Meio Ambiente, Pavimentação, Fundações, Barragens.

ABSTRACT: The paper contextualizes the studies of tropical soils properties and behavior concerning the environment and geotechnical works, ranging from preliminary studies to execution. A critical-constructive analysis is carried out through examples, showing the importance of considering, in many cases, the peculiarities of tropical soils and the characteristics of the works themselves. The paper's importance relies on the fact that studies, projects, and executions of geotechnical works and even their maintenance throughout their useful lives are almost always in tropical climate countries such as Brazil, based on knowledge and experience built in countries with cold and temperate climate. The paper aims to contribute to the construction of a professional conscience freed from the traditional culture that in many cases has been followed without further reflection in tropical countries. The approaches taken sought to cover temporal and spatial aspects, both of great importance in preliminary studies, in projects, and the execution and maintenance of works in tropical climate regions. The analyzes throughout the paper were conducted with the aim of showing the importance of considering the properties and behavior of soils subjected to weathering processes in preliminary studies, the preparation of projects, the execution and maintenance of works in countries with tropical climate.

KEYWORDS: Tests, Environment, Paving, Foundations, Dams.

1 Introdução

O artigo é apresentado contextualizando-se os aspectos temporal e espacial, a origem, as propriedades e os comportamentos dos solos tropicais em relação ao meio ambiente e à obra geotécnica em questão.

Embora os solos profundamente intemperizados geralmente percam a relação direta de suas propriedades e comportamentos com a sua origem, como mostrou Cardoso (1995) ao estudar solos colapsíveis do Distrito Federal, colocá-la em evidência é relevante para indicar que a ação intemperizadora propiciada pelas condições climáticas tropicais tem sua efetividade ligada à composição químico-mineralógica da rocha de origem, seja o solo residual ou transportado. Em particular, cabe destaque, quanto à origem, os materiais ricos em quartzo, devido à sua importante resistência à intemperização, mesmo em condições climáticas tropicais, podendo ele, no entanto, ser neoformado como evidenciado por Senaha (2019). Esse destaque é feito para indicar que a ação climática tropical nem sempre leva o solo a propriedades e comportamentos que os



distingue daqueles formados em condições de clima temperado e frio, como é o caso de muitos materiais presentes em regiões litorâneas e ricos em quartzo. As transformações químico-mineralógicas e estruturais pelas quais passaram os solos são elementos definidores das propriedades e comportamento dos solos formados em regiões de clima tropical.

Além das questões espacial e temporal em sentido amplo e aquelas relacionadas à origem, faz-se necessário contextualizar o estado em que o solo se encontra ou se encontrará em uma determinada obra. Por exemplo, em uma barragem de terra na fase de construção, o solo se encontra em estado não saturado e com determinada composição textural e químico-mineralógica, no entanto, após o enchimento do reservatório, parte do maciço passará a atuar em estado saturado e sendo submetido ao fluxo hídrico, logo, em muitos casos, os estudos precisam contemplar a questão temporal, pois mesmo em termos de composição, ele pode ser submetido a lixiviações, assim como ao aporte de solutos e micropartículas que se precipitaram ou foram retidas e que se encontravam presentes no fluido do reservatório. Esse foi um exemplo com entendimento facilmente visualizável, no entanto, a questão temporal, quando se trata de solos tropicais, é mais ampla. Lima (2003) mostra, ao estudar ravinas e voçorocas do Distrito Federal, que o maciço passa, em função da alteração das condições de drenagem, por um processo de alteração físico-química relativamente rápido. Os resultados dos estudos realizados por Lima (2003) têm alcance mais amplo que as simples ravinas e voçorocas, por exemplo, situações similares de alteração nas condições de drenagem ocorrem nos cortes rodoviários.

Esses exemplos ilustram a importância de, em muitos casos, considerarem-se as peculiaridades dos solos tropicais e as próprias características das obras, cabendo lembrar que a maioria dos conhecimentos disponibilizados em artigos, livros e normas técnicas foram quase sempre fundamentados nos conhecimentos e experiências construídos em países de clima frio e temperado e, portanto, a partir de solos distintos dos tropicais. Cabe, então, a pergunta: O que difere os solos tropicais dos solos formados em regiões de climas temperados e frios? Antes de responder a essa questão, cabe esclarecer que, ao longo deste artigo, o termo solo tropical será usado para aqueles solos que compõem um perfil de intemperismo e que passaram ou estão a passar por um intenso processo de transformação de sua composição e estrutura. Nesse sentido, este texto se refere a solos tropicais em três níveis de intemperização: os solos profundamente intemperizados, nos quais se situam os solos lateríticos; os solos de transição e os solos saprolíticos, que são solos ainda pouco intemperizados e que guardam resquícios da estrutura e mineralogia da rocha mãe (Cardoso, 2002).

A resposta à questão formulada seria demasiadamente longa e alguns exemplos serão tratados neste artigo. Informações complementares podem ser encontradas, dentre outros, em Gidigas (1976), Patiño (2004), Camapum de Carvalho et al. (2015) e Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021).

O artigo tem por objetivo contribuir para a construção de uma consciência profissional liberta da cultura tradicional que, em muitos casos, tem sido seguida sem maiores reflexões nos países de clima tropical. Para que a consciência esteja em movimento construtivo, faz-se necessário que ela seja liberta. Para ajudar no exercício dessa liberdade, o artigo mostra, por meio de exemplos, a necessidade de se ajustarem projetos e obras geotécnicas ao contexto dos solos presentes em regiões de clima tropical e que passaram, estão passando ou passarão por processos de intemperização.

2 Estudos Preliminares

O planejamento de uma obra deve compreender os estudos preliminares, a elaboração do projeto e a execução e manutenção do empreendimento, no entanto, já nos estudos preliminares, muitas vezes, eles são insuficientes ou abordados de modo incompatível com a realidade. Restringindo-se ao campo geotécnico, os estudos preliminares geralmente envolvem o estudo do local e dos materiais que estão presentes ou que serão utilizados.

Os estudos do local da obra compreendem quase sempre análises de publicações e de projetos já executados na região, o levantamento da área, incluindo aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos e de cobertura, ocupação e uso do solo e a realização de ensaios de laboratório e de campo.

Destaca-se, inicialmente, que análises de publicações e de estudos e projetos já executados na região assumem, muitas vezes, grande relevância e devem constituir-se em ponto de partida, lembrando que a experiência está sempre em construção.

Não menos relevantes são os aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos e de ocupação e uso do solo. Pode-se perguntar, mas qual a relevância desses aspectos se o foco das discussões neste artigo são os



solos tropicais, em especial, os profundamente intemperizados? A resposta é simples: quase sempre a obra adentra nos materiais menos intemperizados ou tem seu comportamento a eles ligado. Por exemplo, com frequência, as fundações profundas adentram nos solos menos intemperizados, assumindo grande importância sua estrutura em materiais estratificados com orientação de partículas bem definida.

Outro exemplo contextualizando a importância do aspecto estrutural que está ligado às características da rocha de origem são os cortes quando estes atingem o manto pouco intemperizado, situação em que tanto a orientação de partículas como eventuais fluxos hidrogeológicos interferem na estabilidade de talude. Ainda ligado à geologia, a depender da formação geológica, há que se avaliar a possibilidade de presença de cavidades internas no maciço.

No que tange à importância da geomorfologia, cabe, inicialmente, esclarecer que ela pode ser natural ou antropizada e que não só a morfologia de superfície como a de subsuperfície são importantes quando se está a estudar, projetar, executar e dar manutenção em obras geotécnicas. As análises realizadas por Jesus (2013) e que, apesar de voltadas para o estudo de erosões, aplicam-se às obras geotécnicas de modo geral, mostram que as condições geomorfológicas de superfície impactam diretamente na distribuição de tensões e no fluxo hídrico no interior do maciço e, por consequência, na elaboração de projetos e na execução e manutenção das obras geotécnicas.

Quando o tema é a questão climática, geralmente se pensa em aspectos como temperatura, precipitações e sua distribuição, mas se coloca de lado a dinâmica da interação solo-atmosfera, sendo a própria obra passível de interferir nessa interação (Luiz, 2012). Por exemplo, em um corte rodoviário, a orientação dos taludes em relação à insolação e ao efeito de ventos vai impactar diretamente nessa interação solo-atmosfera e, consequentemente, na umidade do solo, na sucção nele atuante e no comportamento hidromecânico do maciço, assim como em sua própria degradação ao longo do tempo. Tal degradação quase nunca é lembrada, mas explica, muitas vezes, as rupturas de taludes que ocorrem 30, 40, 50 anos depois de executado o corte.

Adentrando-se nos aspectos cobertura, ocupação e uso do solo, eles são, quase sempre, no que tange às obras geotécnicas, não considerados. A cobertura do solo, se natural, guarda um vínculo com o que é o solo; já a sua ocupação e uso, sejam eles rural ou urbano, definem as alterações, em especial de ordem química, pelas quais tem passado. Tais alterações, muitas vezes, impactam a estabilidade textural e estrutural do solo e, por consequência, seu comportamento hidromecânico (Pérez, 2018).

Indo agora para as questões geotécnicas geralmente consideradas, iniciando pelos ensaios de campo, pois, além de serem importantes, ajudam na definição dos ensaios de laboratório. Nas análises tanto dos ensaios de campo como de laboratório, sugere-se a contextualização pretérita, atual e futura do local, valorizando-se o aspecto temporal, conforme será exemplificado. Suponha-se um local onde será executado um edifício com garagem no subsolo. Nesse caso, qual o momento ideal para se fazerem as sondagens, antes ou depois da escavação do subsolo? A resposta seria, em tese, nos dois momentos. As realizadas antes embasariam não só os estudos de laboratório como já ajudariam na definição do perfil de intemperismo e na própria concepção da obra, no entanto, o uso dos resultados no dimensionamento das fundações sem que se efetue ensaios complementares é temeroso, pois vão intervir no comportamento do maciço e das fundações a nova morfologia do terreno imposta pela escavação do subsolo, o que requer sondagens complementares. Então, esse exemplo contextualiza o atual e o futuro, mas e o pretérito?

No Distrito Federal, foi implantado o lago artificial do Paranoá. Em determinados locais de sua margem, está presente um manto de solo profundamente intemperizado e espesso sobre o qual são construídas edificações. No passado, antes da construção do lago Paranoá, o solo presente nesses locais era geralmente colapsível por inundação, mas, com a construção do lago, eles deixaram de ser colapsíveis? Por inundação, sim, pois já se encontram, na maioria, saturados, no entanto, a sua metaestabilidade estrutural foi mantida, podendo a estrutura entrar em colapso, por exemplo, quando do aumento das tensões atuantes ou por incidência de vibrações. Em uma determinada obra, os estudos realizados por Araújo (2008) mostraram que o aumento da pressão de concretagem das estacas Hélice Contínua levava a melhoria de seus comportamentos pelo simples fato de aumentar os seus diâmetros efetivos em consequência do colapso estrutural do solo circunvizinho. Nessa situação, os fatos pretéritos eliminaram o risco de colapso estrutural do solo por aumento de umidade, no entanto, ele manteve-se estruturalmente colapsível.

Com fundamento nesses breves exemplos, depreende-se que, no caso dos solos tropicais, é relevante que se atente para as suas particularidades de comportamento. Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021) apresentam resultados de provas de carga realizadas em estacas assentes em um perfil de solo tropical profundamente intemperizado, não saturado, localizado no Distrito Federal, superiores àqueles estimados por



meio de métodos semiempíricos, fazendo-se uso de resultados de SPT e SPT-T. Polido *et al.* (2016) chegam à conclusão similar ao realizarem provas de carga sobre estacas do tipo hélice contínua em um perfil de solo laterítico não saturado de Serra – ES.

Os resultados apresentados por Polido *et al.* (2016) são relevantes, e os elevados recalques residuais apresentados nas provas de carga apontam para a natureza colapsível do perfil de solo. A Figura 1 apresenta uma releitura dos resultados, buscando contribuir para o entendimento do comportamento geralmente diferenciado que apresentam os solos profundamente intemperizados ao longo do perfil de intemperismo. Verifica-se, na Figura 1a, que o recalque elástico ($\Delta H_{\text{elástico}}$) aumenta, como esperado, com o comprimento da estaca e, quando dividido por estes, fornece valores próximos, 0,37, 0,28 e 0,33 para as estacas com 6 m, 13 m e 20 m de comprimento, respectivamente. Já a Figura 1b, considerando-se que o colapso aumenta com a tensão aplicada, mostra que o recalque residual ($\Delta H_{\text{residual}}$) dividido pela carga máxima diminui com o aumento do comprimento da estaca, apontando para a diminuição da colapsividade à medida que se aprofunda no perfil de intemperismo.

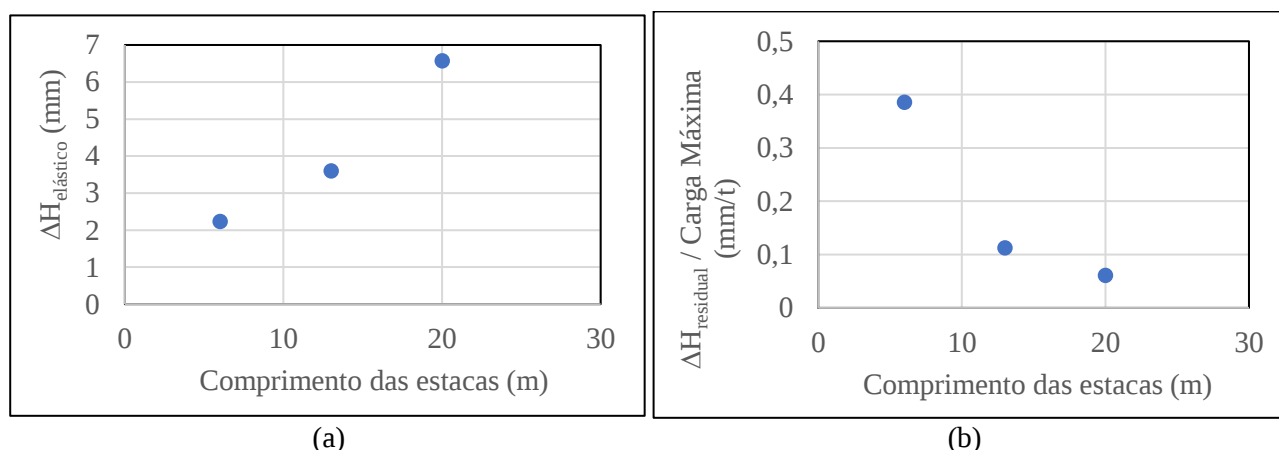


Figura 1. Recalques elástico e residual em função do comprimento das estacas.

As análises de resultados apresentadas por Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021) e por Polido *et al.* (2016) não estão, no entanto, afirmando que os métodos semiempíricos destinados a estimar a capacidade de carga das estacas são ruins, mas simplesmente mostram que eles não se ajustam bem aos solos tropicais profundamente intemperizados, pois os resultados dos ensaios de campo que eles utilizam subavaliam o comportamento mecânico desses solos. Assim, as análises até aqui realizadas deixam claro a relevância de se considerar, nos estudos e projetos, as peculiaridades dos solos tropicais.

No caso dos estudos de laboratório, as classificações dos solos tropicais, muitas vezes utilizadas como balizadoras dos seus potenciais comportamentos, requerem não só ensaios, como também que suas próprias análises sejam diferenciadas daquelas geralmente adotadas nos países de clima temperado e frio e que, normalmente, são seguidos *ipsis litteris*, sem maiores reflexões, nos países de clima tropical, como é o caso do Brasil.

Exemplificando (Roseno e Camapum de Carvalho, 2007), a Figura 2a, obtida para um solo coletado a 4 m de profundidade, mostra que a definição da granulometria de um solo tropical profundamente intemperizado depende da técnica de ensaio adotada, devendo ser compatível com as condições de uso. Já as curvas granulométricas apresentadas na Figura 2b, para solos coletados a 1 m, 4 m e 8 m de profundidade, foram obtidas para amostras em estado natural e submetidas à secagem utilizando-se o granulômetro a laser e fazendo-se uso de defloculante e ultrassom. Os resultados mostram que a estabilidade estrutural das agregações é afetada pela secagem, sendo o material mais profundo (8 m) e, por consequência, menos intemperizado, o mais sensível. Portanto, no estudo dos solos tropicais profundamente intemperizados, faz-se necessário que se considere o seu uso e a condição de uso. Destaca-se que, no que tange ao tratamento dado ao solo, ele vai afetar não só as propriedades físicas, impactando sobre sua classificação como também o próprio comportamento hidromecânico, pois, como mostrado na Figura 2b, ele pode interferir na estabilidade das agregações.

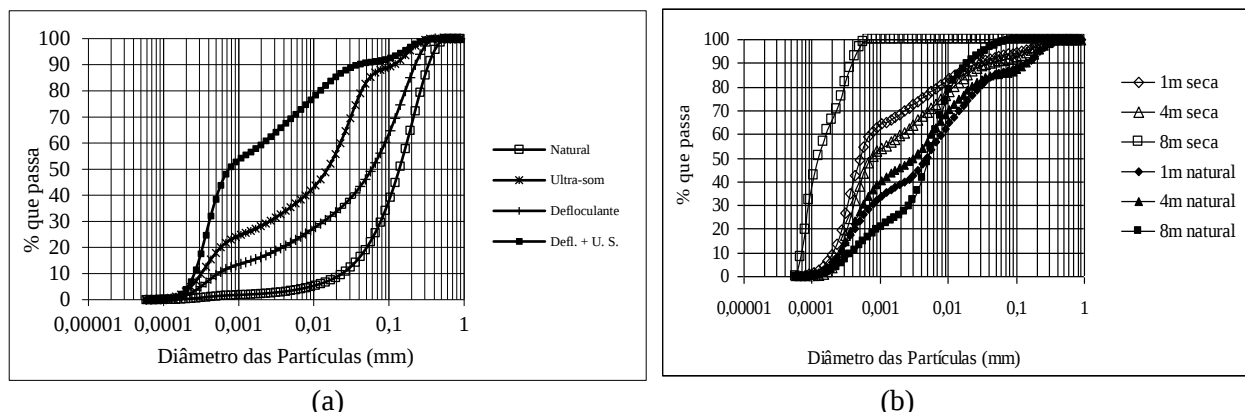


Figura 2. Granulometria de solos tropicais profundamente intemperizados.

Outro aspecto muito relevante quando se estuda o comportamento dos solos tropicais por meio de ensaios de laboratório diz respeito à necessidade de se considerar a distribuição de poros. Segundo Camapum de Carvalho (2017) e Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021), no caso dos solos profundamente intemperizados, deve ser excluída das análises do comportamento hidromecânico a microporosidade presente nas agregações e a água nela contida e, nos solos pouco intemperizados contendo argilominerais expansivos, a água de hidratação presente em suas intercamadas e o seu volume.

As considerações realizadas em nível dos estudos preliminares apontam na direção da imperiosa necessidade de se dar um tratamento diferenciado quando se estudam propriedades e comportamento dos perfis de intemperismo tropical.

3 Projetos Geotécnicos

O conjunto de fatores e particularidades realçados na fase de Estudos Preliminares são de fundamental importância quando se elabora um Projeto Geotécnico. O projetista não deve se ater às exigências do contrato nem tampouco considerar as exigências mínimas do contrato como definidoras do projeto. A técnica de cálculo pode ser refinadíssima, de última geração, no entanto, ela não prescinde de estudos preliminares adequados e da contextualização espacial e temporal da obra.

No que tange à temporalidade, normalmente se trabalha com o agora, esquecendo-se, apesar da relevância, do ontem e do amanhã. Exemplificando: as várias rupturas de encostas ocorridas no Estado do Rio de Janeiro no ano de 2011, independentemente da causa deflagradora, deram-se, pelo menos em parte, devido a processos de intemperização dos maciços em tempos passados. Já o uso agrícola, urbano e periurbano do solo estão a intemperizar os maciços, potencializando rupturas futuras. Pode, então, surgir a pergunta: como proceder e quais parâmetros considerar ao se elaborar um projeto? O ontem pode, em certos casos, ser considerado como já inserido no estudo paramétrico feito agora, no entanto, há que se considerar que, sendo os solos tropicais profundamente intemperizados pelo menos, em parte, agregados, a ação química pode ainda não estar concluída. Já o impacto do amanhã é quase sempre passível de ser incluído por meio do planejamento, que é, muitas vezes, deficiente tanto no meio rural como no urbano e periurbano.

Um outro aspecto relevante quando se projeta é o espacial. Nesse caso, trabalha-se, geralmente, com o aqui, esquecendo-se do entorno do aqui. Ayala (2020), ao estudar a estabilização química com cal de um solo tropical profundamente intemperizado, fazendo a cura de corpos de prova *in situ*, observou que após um ano, a cal tinha não só agido na desagregação do solo estabilizado como, em parte, migrado, instabilizando as agregações presentes nos corpos de prova não estabilizados. Esse caso mostra que não só a obra executada pode impactar em seu entorno como pode, com o tempo, sofrer impactos oriundos do ambiente externo. Em certos casos, ocorrem problemas oriundos de deficiências nos estudos preliminares, no projeto, na execução da obra e em sua própria manutenção, mas não raro eles são oriundos de fatores externos agregados posteriormente sem a devida previsão.

Considerando-se ainda a questão espacial, a elaboração de um projeto, por exemplo, de fundação, aterro ou corte, requer se considere a geomorfologia natural e antropizada, pois esta impacta diretamente na distribuição de tensões, umidade e nível freático e, portanto, no comportamento do maciço, requerendo quase



sempre análises tridimensionais, muito embora a maioria dos projetistas ainda se mantenham limitados a avaliações bidimensionais.

Portanto, o projeto deve ser elaborado considerando-se os aspectos temporal e espacial e fazendo-se uso de parâmetros definidos por meio de ensaios apropriados, não sendo recomendada a definição deles a partir de correlações com os resultados oriundos de outros solos.

4 Execução e Manutenção de Obras Geotécnicas

A execução e manutenção das obras geotécnicas não fogem à necessidade de se considerar os aspectos temporal e espacial, em especial quando se trata de solos tropicais. A qualidade dos estudos preliminares e do projeto elaborado são de suma importância e eles devem considerar tais aspectos, no entanto, a execução e a manutenção das obras geotécnicas não prescindem do exercício pleno da engenharia, quando são particularmente valiosos o conhecimento, a observação, o entendimento e a reflexão para que se adotem as decisões executivas apropriadas. Em uma obra como um todo, as ações multidisciplinares são geralmente relevantes e necessárias. Por exemplo, a avaliação estrutural de um maciço pouco intemperizado e de fluxos de origem hidrogeológica recomendam a participação de um geólogo.

Para realçar tal relevância, cita-se o caso de um viaduto que estava sendo construído no Distrito Federal. Os estudos preliminares utilizados no projeto envolveram a realização de sondagens no período de seca, prática comum, devido à maior facilidade de execução. Na fase de execução da obra, construiu-se primeiro o viaduto e, em seguida, deu-se início à escavação para a implantação da via que passaria sob ele. No entanto, a empresa executora foi surpreendida pela presença de água que levava a pista à condição de submersão, impossibilitando a continuidade dos serviços. Duas alternativas surgiram: executar um sistema de drenagem com dutos em túnel; refazer o viaduto elevando a cota da pista. Optou-se pela execução da drenagem, mas o mais relevante é que esse nível d'água não apareceu nas sondagens, mas provavelmente poderia ter sido previsto se analisada a hidrogeologia por profissional competente.

Embora não se pretenda estender muito as discussões sobre as execuções e manutenções das obras geotécnicas, é importante que tanto em um caso como no outro se considere o perfil de intemperismo tropical, pois, ao longo dele, geralmente estão a variar a composição químico-mineralógica e o teor e estabilidade dos agregados e da própria estrutura do solo, por mais que a cor e a textura tátil-visual e oriundas de análises granulométricas com o uso de agentes desagregadores se mantenham, apontando para um material homogêneo. Tal particularidade impõe tanto para o material de uma jazida como para um solo de fundação que se faça estudo em perfil, em especial quando se pretende fazer a estabilização química do solo. No solo menos intemperizado, solo saprolítico, as agregações se fazem ausentes e podem surgir os pacotes de argila e a presença de argilominerais expansivos, minerais ausentes nos solos profundamente intemperizados. A zona de transição entre os solos profundamente intemperizados e os solos pouco intemperizados é marcada por significativa heterogeneidade de propriedades e comportamento, dificultando a definição dos parâmetros a serem usados no projeto, assim como o controle da execução de uma obra.

Dada a frequente sensibilidade das agregações presentes nos solos profundamente intemperizados, é sempre importante, durante a execução da obra, atentar-se, por um lado, para como se deram as preparações das amostras para a realização dos ensaios de laboratório, e por outro, para a qualidade da água quando da necessidade de sua utilização em campo.

5 Considerações Finais

O conhecimento efetivo e o mais pleno possível quando se trabalha com solos tropicais se reveste de fundamental importância. Por exemplo, suponha um cascalho laterítico em utilização em um aterro ou em uma estrutura de pavimento. Nesse caso, geralmente, o controle da execução se dá considerando-se como referência a faixa de umidade e o grau de compactação estabelecidos para o projeto com base nos estudos de laboratório. Considere que esse cascalho contenha significativa quantidade do argilomineral haloisita em estado hidratado e que os estudos de laboratório tenham sido realizados com secagem do solo ao ar. Esse argilomineral ao ser seco ao ar é, em grande parte, desidratado, gerando, devido a impossibilidade de reidratação, uma diferença entre a umidade ótima definida em laboratório e aquela obtida para o solo em seu estado natural.

Suponha agora que esse mesmo cascalho, apresente, ao longo do perfil, variações no teor de hematita e mantenha textura e comportamento quando sua textura é preservada. Nesse caso, devido à variação no teor de



hematita, a densidade de grãos na jazida varia com a profundidade, levando a alterações no peso específico aparente seco sem que a porosidade definidora do comportamento se altere. Quando o peso específico aparente seco em campo se torna inferior ao valor mínimo admitido para a execução da obra, geralmente é imposta a recompressão do solo sem que se avalie a sua porosidade efetiva. Destaca-se que tal recompressão pode levar à quebra de agregados, expondo os vazios internos e contribuindo para o aumento do peso específico aparente seco, salientando-se, porém, que o desempenho dos materiais mais finos em estruturas de pavimento é frequentemente pior. De um modo geral, o comportamento dos solos profundamente intemperizados é função da umidade e da porosidade interagregados, e tanto o grau de compactação como a umidade, convencionalmente determinados, não os avalia de modo apropriado, pois refletem a umidade e porosidade globais.

Foi colocada, em relação à umidade, a questão da presença de haloisita hidratada, mas não se pode esquecer que também a secagem do solo desidrata poros interiores aos agregados nem sempre plenamente reidratados na fase de preparação de amostras para a realização dos ensaios definidores dos parâmetros a serem usados no projeto e no controle da obra.

A execução de uma obra e de serviços de manutenção devem se revestir ao máximo de controles que sejam eficientes e abrangentes. Por exemplo, na compactação dos solos, é recomendável o uso do controle digital em tempo real do número de passadas do rolo compactador por meio do uso de GPS com registro das informações e envio, em tempo real, para os escritórios de projeto, de execução e de fiscalização da obra. No caso de fundações, algumas técnicas executivas, como a de cravação de estacas e de perfuração a trado, como as estacas hélice contínua, permitem o controle da obra durante a sua própria execução (Medeiros, 2011), cabendo lembrar que, em alguns perfis de intemperismo tropical, como ilustrado por Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021), as cravações, seja de amostradores, seja de estacas podem gerar a destruição da estrutura do solo piorando o seu comportamento e, por consequência, o comportamento na interação solo-fundação.

Os resultados obtidos por Ayala (2020) quando da estabilização de um solo com cal tem alcance maior, podendo, por exemplo, com a migração de componentes químicos do concreto usado em estacas, grampos e tirantes para o solo circunvizinho, afetar a estabilidade estrutural dos agregados e gerar a deterioração da interação solo-estrutura com o tempo. Tal migração é, geralmente, função da sucção atuante no solo, pois, sendo nula, a sucção matricial no concreto no momento da concretagem, ela propiciará a captação pelo solo de parte do seu fluido carregado quimicamente (Camapum de Carvalho e Gitirana Jr., 2021).

Buscou-se, neste artigo, contribuir para maiores reflexões na prática da engenharia geotécnica e espera-se que o leitor as pratique em suas atividades, em especial naquelas que guardam relação com os perfis de intemperismo tropical.

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

- Araújo, G.S. (2008). *Análise da capacidade de carga de estaca hélice contínua em função do torque, da pressão de injeção de concreto e parâmetros do solo*. Monografia de Projeto Final em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 74 p.
- Ayala, R.J.L. (2020). *Melhoria de solos com fibras provenientes da indústria avícola*. Tese de Doutorado, 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, v. 1, p. 538-574.
- 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., Gitirana Jr., G.F.N., Machado, S.L., Mascarenha, M.M.A., Silva Filho, F.C. (2015), (organizadores). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. ABMS, 763 p. <https://www.abms.com.br/biblioteca/>
- Cardoso, F.B.F. (1995). *Análise química, mineralógica e micromorfológica de solos tropicais colapsíveis e o estudo da dinâmica do colapso*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 142 p.
- Cardoso, F.B.F. (2002). *Caracterização físico-química e estrutural de solos tropicais do Distrito Federal*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 2002, 357 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Gidigas, M.D. (1976). *Laterite Soil Engineering: Pedogenesis and Engineering Principles*. Elsevier Scientific Publishing Company, (9), 554 p.
- Jesus, A.S. (2013). *Investigação multidisciplinar de processos erosivos lineares: estudo de caso da cidade de Anápolis - GO*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 340 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Lima, M.C. (2003). *Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 336 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Luiz, G. C. (2012). *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, 336 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Patiño, F.H. (2004), (tradutor). *Suelos Residuales tropicales*. P.G. Fookes (editor). Hombre Nuevo Editores, 235 p.
- Pérez, A.C. (2018). *Influência de insumos agrícolas em propriedades físicas de solos tropicais*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 103 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Polido, U.F., Almeida, R.C.M.B., Albuquerque, P.J.R., Alledi, C.T.D.B. (2016). Análise de Provas de Carga em Estacas Hélice Contínua de Comprimentos Variados em Solos Lateríticos da Formação Barreiras. In: *XVIII COBRAMSEG*, Belo Horizonte, 8 p.
- Roseno, J.L., Camapum de Carvalho, J. (2007). Avaliação granulométrica de um perfil de solo tropical usando o granulômetro a laser. Cuiabá: In: *III Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste*. Cuiabá. Wilson Conciani, CEFETMT, p. 136-147.
- Senaha, S.C.P. (2019). *A quartzilização em perfis de intemperismo tropical*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 159 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Silva, C.M. (2011). *Energia e confiabilidade aplicadas aos estaqueamentos tipo hélice contínua*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 311 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>