

MINERALOGIA E ARQUITETURA DE TERRA COM SOLOS TROPICAIS

Jaqueline Leite Ribeiro do Vale¹, Marco Antônio Penido de Rezende²

¹Universidade Federal de Viçosa, UFV. Rede TerraBrasil, Brasil, jaquelinevale@gmail.com

²Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. PROTERRA/Rede TerraBrasil, Brasil, marco.penido.rezende@hotmail.com

Palavras-chave: caracterização do solo, argilominerais, solos lateríticos

Resumo

No Brasil, o futuro da arquitetura e construção com terra acontece, primordialmente, pelo reconhecimento da relevância desta prática, ambicionando regulamentação própria, que transmita uma espécie de adaptação do estudo das técnicas aos solos tropicais brasileiros. O primeiro passo para tal reconhecimento é o estudo e compreensão das características dos solos brasileiros, para então aprofundar em suas caracterizações e aplicações. Este artigo tem como objetivo principal realizar uma revisão da literatura sobre as características mineralógicas dos solos tropicais, visando compreender como essas características afetam as propriedades físicas e químicas do solo e através deste estudo fornecer informações relevantes para a aplicação desses solos na arquitetura e construção com terra, buscando promover uma utilização mais eficiente e sustentável dos recursos disponíveis. As estratégias metodológicas utilizadas no artigo foram: pesquisa bibliográfica abrangente e análise das implicações das características mineralógicas dos solos tropicais nas propriedades físicas e químicas do solo e sua relevância para a aplicação em arquitetura e construção com terra. Devido às diferenças climáticas e a outros fatores de evolução, os solos tropicais podem divergir e apresentar comportamentos distintos relacionados ao seu proceder hidráulico e mecânico, por meio do processo de laterização, que acontece em regiões tropicais úmidas, onde os cátions básicos são lixiviados, com concentração residual de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio. Desse modo, devido a esses acontecimentos, a fração argila de solos lateríticos é composta essencialmente por argilominerais do grupo das caulinitas e de óxidos e hidróxidos hidratados de ferro e, ou, alumínio. A compreensão da mineralogia dos solos tropicais, especialmente dos argilominerais, permite uma melhor caracterização desses solos e a adequação das técnicas de construção com terra. Isso é especialmente relevante considerando as particularidades dos solos tropicais, como a laterização e a presença de minerais específicos, que podem afetar o comportamento hidráulico e mecânico dos solos.

1 INTRODUÇÃO

Construções utilizando terra como matéria-prima constituem uma das técnicas mais antigas do mundo, sendo utilizada até a atualidade em grande parte do mundo, principalmente em lugares de climas quentes, áridos ou temperados, traduzindo a história e cultura de várias populações.

Cobrindo a maior parte da superfície terrestre, a terra é um material muito acessível e quando misturada com água, em alguns casos, com algum estabilizante, para uma consistência adequada, torna-se um material fácil de trabalhar e moldar (Oliver, 1997).

Existem diversas técnicas de construção com terra no mundo, sendo que, no Brasil, as mais utilizadas são o adobe, pau a pique, taipa de pilão, terra ensacada e o bloco de terra comprimida (BTC), sendo as duas últimas técnicas mais recentes. A utilização da terra nessas técnicas ocorre, resumidamente, de duas maneiras: o solo com uma maior quantidade de água, formando uma massa plástica, como o pau a pique e o adobe; ou uma mistura úmida, tendendo a quase seca, que pode ser prensada ou compactada, que é o BTC, terra ensacada e a taipa de pilão. Dentro destes dois modos de utilização existem diferentes propriedades mecânicas e de impermeabilidade (Neves et al., 2009).

Dentre as vantagens da construção com terra em relação às convencionais estão o baixo consumo de energia, associada ao quase nulo nível de poluição, proporcionando eficácia no

que diz respeito à saúde humana, além de promover conforto vinculado às questões térmicas (Torgal; Jalali, 2009).

Apesar de suas vantagens ambientais e econômicas, a utilização da terra como material de construção foi reduzida nas últimas décadas devido ao surgimento de técnicas que tornam o processo construtivo mais rápido devido à sua industrialização, como o bloco cerâmico e o bloco de concreto, mas que possuem impacto ambiental maior quando comparados com a arquitetura de terra.

Muitas dessas técnicas, como o adobe e o pau-a-pique, continuam sendo utilizadas pela população mais carente no Brasil, principalmente na área rural, sendo que, eventualmente, por falta de recursos financeiros e conhecimentos técnicos, a construção torna-se precária e sem acabamento adequado.

A falta de conhecimento para selecionar solo adequado e das técnicas corretas para a produção também podem gerar construções de baixa qualidade. Por esse motivo, arquitetura de terra é vista, muitas vezes, com preconceitos e remete a uma precariedade e fragilidade para a grande maioria da população. Mas muitos exemplos de utilização correta de técnicas de terra existem para quebrar esse paradigma, como em algumas cidades históricas que possuem construções antigas e bem conservadas.

Construções atuais utilizando esse tipo de técnica também têm sido importantes para quebrar tais preconceitos, como em Tiradentes e no distrito Vitoriano Veloso, conhecida como Bichinho, no Estado de Minas Gerais (Brasil), que tem utilizado adobe como material de construção (Vale, 2012). Por meio de produção individual ou de comercialização com produtores locais, a utilização de construções com terra vem sendo resgatada, não só mantendo uma tradição de arquitetura colonial local, mas também através de construções com estilo arquitetônico contemporâneo.

Para a construção, o solo deve apresentar boa coesão atribuída pela presença da argila, que tem a funcionalidade de um ligante natural. Existem variações no tipo e na quantidade de argila, de acordo com o local onde o solo se encontra, fazendo-se necessário aferir constantemente a qualidade do material a ser utilizado e as suas características específicas (Santiago, 2001).

O conhecimento das propriedades dos materiais geotécnicos envolvidos nas técnicas construtivas de terra é imprescindível, uma vez que o solo é a principal matéria prima, representando de oitenta a cem por cento (dependendo de suas características) do peso da estrutura construída.

As argilas possuem papel fundamental na composição do solo e no seu comportamento em construção com terra devido às suas diversas características, como a elevada estabilidade, propriedades de superfícies que podem ser modificadas por tratamentos adequados e a sua capacidade como adsorvente (Souza; Carvalho, 2015), que consiste na troca catiônica entre compostos orgânicos com a superfície das argilas (Neumann et al., 2000).

No Brasil, o futuro da arquitetura e construção com terra acontece, primordialmente, pelo reconhecimento da relevância desta prática, ambicionando regulamentação própria, que por sua vez necessita da adaptação do estudo das técnicas de prospecção e construção aos solos tropicais brasileiros. O primeiro passo para tal reconhecimento é o estudo e compreensão das características dos solos brasileiros, para então aprofundar em suas caracterizações e aplicações.

2 OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo principal realizar uma revisão da literatura sobre as características mineralógicas dos solos tropicais, com ênfase na presença de argilominerais e óxidos de ferro e alumínio, visando compreender como essas características afetam as propriedades físicas e químicas do solo e através deste estudo fornecer informações

relevantes para a aplicação desses solos na arquitetura e construção com terra, buscando promover uma utilização mais eficiente e sustentável dos recursos disponíveis.

Os objetivos específicos são:

- Realizar uma revisão abrangente da literatura científica sobre as características mineralógicas dos solos tropicais, com foco na presença de argilominerais, óxidos de ferro e óxidos de alumínio.
- Identificar os principais tipos de argilominerais encontrados nos solos tropicais e analisar suas propriedades físicas e químicas relevantes para a arquitetura e construção com terra.
- Avaliar a influência das características mineralógicas dos solos tropicais, incluindo a presença de argilominerais e óxidos de ferro e alumínio, nas propriedades físicas do solo, como capacidade de retenção de água, plasticidade e compressibilidade.

3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

As estratégias metodológicas utilizadas no artigo foram:

- pesquisa bibliográfica abrangente em bases de dados científicas, periódicos especializados, livros e outras fontes relevantes para coletar estudos e informações sobre as características mineralógicas dos solos tropicais;
- análise das implicações das características mineralógicas dos solos tropicais nas propriedades físicas e químicas do solo e sua relevância para a aplicação em arquitetura e construção com terra no país.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

É sabido que as propriedades físicas e químicas do solo utilizado na arquitetura e construção com terra possuem uma relação direta com a qualidade final das mesmas. Muito se tem estudado sobre essas características e a qualidade das técnicas de terra aplicadas, mas pouco tem se falado sobre os comportamentos e peculiaridades dos solos tropicais aplicados à arquitetura de terra.

4.1 Formação e peculiaridades dos solos tropicais

Solos tropicais são aqueles que apresentam peculiaridades de propriedades e de comportamento em relação aos solos não tropicais, em decorrência da atuação de processos geológicos, que ocorrem utilizando energia proveniente do interior da Terra, formando e modificando a composição e a estrutura da crosta, e/ou pedológicos, típicos das regiões tropicais úmidas (Nogami e Villibor, 1995, p.12).

Provavelmente, as variações mineralógicas constatadas nos solos tropicais são muito maiores que nos solos de outras regiões. Além disso, muito dos comportamentos peculiares dos solos tropicais podem ser explicados pela constituição mineralógica. Daí a importância de se considerar essa característica, no estudo geotécnico dos solos tropicais.

Comumente, os países que abrigam esse tipo de solo estão situados na faixa intertropical, sendo que isso não representa necessariamente uma regra, pois o solo deverá apresentar propriedades peculiares, quando comparado aos solos não tropicais (Santos, 2006).

O solo foi reconhecido como “corpo natural organizado”, por meio da influência dos avanços da ciência, por Vaillii Vasilevich Dokuchaev e colaboradores, na segunda metade do século XIX. Dokuchaev formulou, por intermédio dos seus estudos como geólogo, a concepção dos fatores de formação do solo como material de origem, clima, vegetação e relevo agindo ao longo do tempo. O conhecimento de tais combinações “permitiria predizer quais os solos que ocorrem em cada local, ou seja, a mesma combinação de fatores corresponderia ao mesmo tipo de solo” (Krupenikov, 1992 apud Kämpf; Curi, 2012, p. 8).

A formação do solo é condicionada por um conjunto de processos que atuam ao longo do tempo produzindo mudanças em suas propriedades e representando, assim, a sua evolução. Essa evolução é contínua, uma vez que não há ponto de equilíbrio com o ambiente (Kämpf; Curi, 2012).

Todos os solos originam-se da decomposição das rochas que constituíam inicialmente a crosta terrestre e, de acordo com Young (1978), existem oito fatores físicos principais responsáveis por essa formação: clima, material de origem, forma da superfície terrestre, águas superficiais e subterrâneas (drenagem), organismos (fauna e flora), tempo (idade do solo) e ações antrópicas.

A água no solo é considerada um dos principais agentes do intemperismo das rochas e da transformação dos minerais e atua na redistribuição, adição ou remoção de materiais no interior do perfil do solo. A velocidade do processo de formação é determinada pela disponibilidade e o fluxo de água no solo. O efeito dos fluxos de umidade é caracterizado como regime de umidade do sistema, que representa as mudanças nas reservas de umidade do solo e a quantidade de água disponível para a lixiviação e intemperismo. Além da precipitação pluvial, a temperatura também possui grande significância pedogenética, sendo representada pela média anual de temperatura do ar (Kämpf; Curi, 2012).

Segundo Kämpf e Curi (2012), contemporaneamente com o trabalho desenvolvido por Dokuchaev e sua equipe, o geólogo americano Eugene Woldemar Hilgard relacionou as propriedades químicas dos solos aos fatores clima (1882) e material de origem (1906), sendo estes os principais elementos que alteram o tipo de argilomineral formado nos solos. Um dos motivos dessa influência é o acréscimo da precipitação anual que intensifica a lixiviação que causa mudanças na composição dos argilominerais, da esmectita e da caulinita.

De acordo com Velde (1992 apud Scapin, 2003), os argilominerais são os minerais mais abundantes da superfície da crosta terrestre, formados através do intemperismo de silicatos e constituindo parte importante de solos, rochas sedimentares e sedimentos de fundo oceânico. A classificação dos argilominerais está relacionada com a disposição dos átomos de silício em sua estrutura cristalina.

Grim (1962 apud Mello et al., 2011) afirma não ser possível descrever uma argila por pequeno número de suas propriedades, já que os fatores que as controlam são: a composição mineralógica dos argilominerais, qualitativa e quantitativa; a composição mineralógica dos não argilominerais; a distribuição granulométrica; e o teor de eletrólitos, quer dos cátions trocáveis, quer de sais solúveis, qualitativa e quantitativamente.

O comportamento de determinado tipo de solo é decorrente da quantidade das partículas minerais em sua composição, além da quantidade de água presente não somente da água de lençóis freáticos, mas também das águas retidas nas vizinhanças dos pontos diretos de contato das partículas sólidas e da água adsorvida (Torgal; Jalali, 2009).

Devido às diferenças climáticas e a outros fatores de evolução, os solos tropicais podem divergir e apresentar comportamentos distintos relacionados ao seu proceder hidráulico e mecânico, por meio do processo de laterização, que acontece em regiões tropicais úmidas, onde os cátions básicos são lixiviados, com concentração residual de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio. Desse modo, devido a esses acontecimentos, a fração argila de solos lateríticos¹ é composta essencialmente por argilominerais do grupo das caulinitas e de óxidos e hidróxidos hidratados de ferro e, ou, alumínio. A associação desses elementos é responsável pela aglomeração estável em presença de água, que ocorre graças ao recobrimento dos argilominerais pelos grupos citados anteriormente, que são redutores da capacidade de adsorção de água (Santos, 2006).

Ao apresentar comportamento laterítico quando compactado em condições propícias, um solo

¹ Tem como característica propriedades que os levam a ser classificados como solo de comportamento laterítico na classificação MCT. Em termos pedológicos, o solo laterítico é uma variedade de solo superficial pedogenético, típico das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas (Nogami e Villibor, 1995)

adquire alta capacidade de suporte e baixa perda dessa competência quando imerso em água. Estima-se que esses solos ocupam aproximadamente 8,1% da superfície dos continentes e, no Brasil, se distribuem por quase todo o país (Santos, 2006).

Nogami e Villibor (1995) descrevem as principais peculiaridades dos solos lateríticos e saprolíticos² em relação aos tamanhos de suas partículas. Em relação às areias em solos lateríticos, para esses autores o quartzo é o mineral encontrado com maior frequência, assim como acontece também nos solos não tropicais. O quartzo proporciona aos solos elevada resistência à compressão, elevado módulo de elasticidade, alta dureza e estabilidade química. Outros minerais encontrados são a ilmenita e a magnetita, comumente concentrados no Centro-Sul do Brasil e Sul da Bahia. Nesses solos, a fração de areia possui massa específica maior.

Frequentemente são encontrados nas frações de areia dos solos lateríticos torrões ou agregados constituídos predominantemente de argila que não são totalmente separáveis pelos processos padronizados de desagregação laboratorial nos ensaios de granulometria (Nogami; Villibor, 1995). Tais características podem gerar nesses solos comportamentos distintos daqueles previstos pela curva granulométrica gerada.

Nas frações de areia em solos saprolíticos é comum encontrar diversos minerais distintos do quartzo, como os feldspatos e as micas. Quando presente, a mica pode ser responsável por características marcantes do solo, como: elevação do limite de liquidez e diminuição do índice de plasticidade; elevação da expansibilidade por aumento de umidade; diminuição de massa específica aparente seca máxima quando compactado; elevação de umidade ótima de compactação; diminuição drástica da capacidade de suporte; e redução do módulo de resiliência (Nogami; Villibor, 1995).

As frações de silte nos solos lateríticos são compostas essencialmente pelos mesmos minerais da fração areia, porém com dimensões menores, o que dificulta a identificação rigorosa e completa dessas frações. Assim como acontece na fração areia, é frequente a presença de torrões de argila não totalmente desagregáveis pelo processo de dispersão utilizado na separação dessa fração para determinação granulométrica, variando à sua porcentagem de acordo com a intensidade da dispersão mecânica e do defloculante utilizado.

Em solos saprolíticos, a presença de caulinita, mineral comum na fração argila dos solos, quando encontrada na fração silte pode imprimir propriedades e comportamento peculiares a muitos solos, contribuindo, de maneira diferente do quartzo, nos limites de consistência. Dessa forma, a presença de caulitina na fração de silte pode levar a um índice de plasticidade diferente de zero, o que contribui com a coesão e expansão do solo (Nogami; Villibor, 1995).

A constituição da fração argila dos solos tropicais, sobretudo dos lateríticos, desempenha um papel decisivo no comportamento peculiar desses solos, quando comparados com aqueles similares granulometricamente, considerados na bibliográfica geotécnica de países situados em climas não tropicais (Nogami; Villibor, 1995, p. 18).

Entre as peculiaridades dos argilominerais podem ser citados: grande superfície específica; cargas elétricas predominantemente negativas, que proporcionam a capacidade de troca catiônica quando em suspensão aquosa; quando umedecidos, tornam-se plásticos e resistentes; quando secos, possuem grandes variações volumétricas; e exibem o fenômeno da floculação (agregação de grãos) quando em suspensão aquosa e dispersão, cujo grau depende bastante da concentração e natureza das substâncias químicas em solução. Tais características se acentuam na seguinte ordem de argilominerais: caolinitas, illitas e montmorillonitas (Nogami; Villibor, 1995).

A presença de óxidos de ferro e de alumínio hidratados desempenha papel importante na formação de agregados na fração argila dos solos lateríticos devido às suas propriedades

² Os solos saprolíticos (sapro, do grego: podre) são aqueles que resultam da decomposição e, ou, desagregação in situ da rocha matriz pela ação das intempéries (chuvas, insolação, geadas) e mantêm, de maneira nítida, a estrutura da rocha que lhe deu origem

cimentantes (Nogami; Villibor, 1995). Percebe-se, portando, que os solos tropicais têm características distintas dos de clima temperado, com comportamentos diferentes.

4.2 Mineralogia dos solos brasileiros

Existem diferenças entre os argilominerais e os materiais argilosos. Os argilominerais, que são minerais constituintes e característicos das argilas, geralmente cristalinos, podem conter cátions e estruturalmente se apresentam em camadas e folhas ou em cadeias, sendo estas últimas mais raras. Já os materiais argilosos são materiais naturais de granulometria fina e de textura terrosa ou argilácea, independentemente do fato de os minerais argilosos serem ou não componentes essenciais; são considerados materiais argilosos desde que apresentem textura argilosa e composição rica em argila (Souza, 2011).

São muitas as definições do termo argila e variam de acordo com os pontos de vista científico, técnico e profissional de quem as interpreta. Para Souza (2011, p. 13), o conceito mais generalista do termo argila é

como sendo um produto natural, terroso, constituído por componentes de grão muito fino ($\leq 2 \mu\text{m}$), entre os quais se destacam os minerais argilosos. Este material, quando umedecido, apresenta plasticidade, endurecendo à medida que vai secando naturalmente ou em estufa

A constituição mineralógica das argilas, não somente pelo seu reduzido tamanho, faz que essas partículas tenham comportamentos extremamente diferenciados em relação aos dos grãos de areia e silte. Diferentes minerais na fração de argila podem proporcionar diversos comportamentos dessa fração. Tal diferença de comportamento entre solos com distintos argilominerais se dá pelas forças de superfícies, que são importantes no comportamento de partículas coloidais, e pela diferença de superfície específica (Pinto, 2006). Por esse motivo, solos com mesmos resultados granulométricos podem apresentar diferentes comportamentos de plasticidade.

De acordo com Mitchell e Soga (2005), a resistência à compressão de um solo não depende apenas da resistência da partícula nele presente, mas também da distribuição das forças de contato e do arranjo das partículas de tamanhos diferentes. Pode-se argumentar, portanto, que as partículas maiores, mesmo possuindo partículas com maior resistência, têm maior probabilidade de quebrar, porque as forças de contato normais entre elas aumentam com o tamanho da partícula. No entanto, se uma partícula maior tem contatos com as partículas vizinhas de maior força de superfície, como as presentes na argila, a carga sobre ela é distribuída e a probabilidade de fratura é menor do que para uma condição com poucos contatos.

O termo argilomineral refere-se, usualmente, aos minerais filossilicatos (macrocrístais com aspecto laminar ou folhado) que ocorrem predominantemente na fração de argila (Kämpf; Curi, 2012).

A estrutura dos argilominerais é constituída por lâminas tetraedrais ajustadas, cujas lâminas individuais de tetraedros são ligadas entre si pelo compartilhamento de três oxigênios basais (Figura 1) e a lâminas octaedrais, cujas lâminas de octaedros são unidas por compartilhamento de arestas octaedrais (Figura 2), formando, dessa forma, camadas.

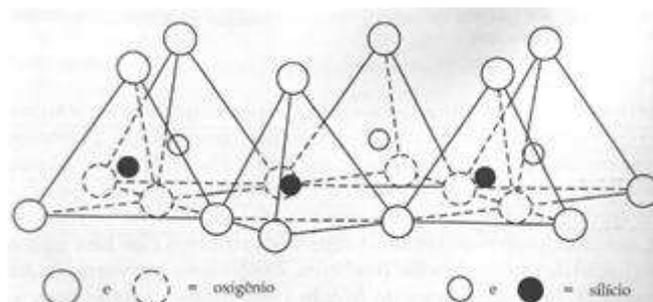


Figura 1. Tetraedros ZO₄ (em que Z = Si, Al) unidos por compartilhamento de oxigênios basais em anel hexagonal, dando origem à lâmina tetraedral (adaptado de Kämpf; Curi, 2012)

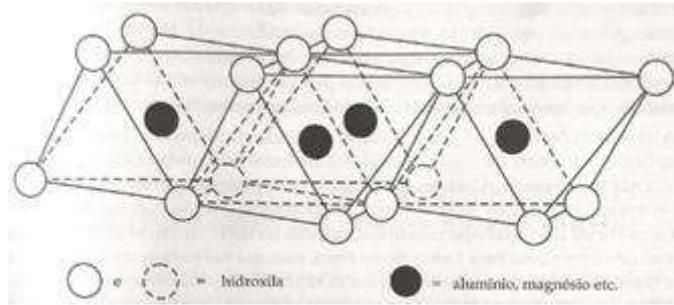


Figura 2. Octaedros YO₆ (em que Y = Al, Fe e Mg; e O = O, OH) unidos por compartilhamento de arestas formando a lâmina octaedral (adaptado de Kämpf; Curi, 2012)

Alguns argilominerais, como a caulinita, são formados por uma camada tetraédrica e outra octaédrica, denominada estrutura de camada 1:1. Dessa forma, as camadas estão firmemente unidas por ligações de hidrogênio, impedindo sua separação. Em outros minerais, como as esmectitas e as ilitas, o arranjo octaédrico encontra-se entre duas estruturas de arranjo tetraédrico, denominadas camada 2:1 (Pinto, 2006).

Nos minerais 2:1, as ligações entre as camadas ocorrem por íons O²⁻ e O²⁺ dos arranjos tetraédricos, as quais são mais fracas do que as ligações entre as camadas de caulinita, em que o OH⁻ da estrutura octaédrica se liga aos íons O²⁺ da estrutura tetraédrica (Pinto, 2006).

Devido à sua peculiaridade e à sua significativa contribuição com as propriedades físicas e químicas do solo, decorrentes do seu pequeno tamanho de partículas (propriedades coloidais), elevada área superficial e reatividade de superfície, os argilominerais são de grande importância no solo.

Kämpf et al. (2012), em pesquisa com 46 amostras de horizontes B latossólicos³, solos de grande representatividade no Brasil, evidenciaram uma fração argila constituída, em média, por 730 g/kg de argilominerais, sendo a caulinita a mais encontrada, seguida de 145 g/kg de óxidos de ferro (goethita e hematita) e 125 g/kg de óxidos de alumínio (gibbsita), entre outros silicatos. Tal pesquisa mostra que, mesmo em solos com alta concentração de óxidos, existe o predomínio dos argilominerais da fração argila.

A presença de diferentes minerais no solo é condicionada pelo material de origem, pelo intemperismo e pela pedogênese, incluindo etapas de estabilidade, transformações e neoformações minerais, formando, assim, diferentes espécies. No Quadro 1 são listados os minerais mais presentes nos solos brasileiros (Kämpf et al., 2012).

Quadro 1– Classificação dos filossilicatos. Em negrito, os argilominerais identificados em solos brasileiros (adaptado de Kämpf e Curi, 2012)

Tipo de camada	Entre camada	Grupo(1)	Subgrupo(2)	Exemplo de espécies minerais
1:1	Nenhum ou só H ₂ O	Caulim serpentina x~0	Caulim (D) serpentina (T)	Caulinita, haloisita , crisotila, antigorita, lizardita

³ O horizonte B latossólico é um horizonte mineral subsuperficial cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização explícito pela transformação quase completa dos minerais facilmente alteráveis, seguida de intensa dessilicificação, lixiviação de bases e concentração residual de sesquióxidos e/ou argilominerais do tipo 1:1 e minerais resistentes ao intemperismo. Em geral, o horizonte B latossólico é constituído por quantidades variáveis de óxidos de ferro e de alumínio, argilominerais do tipo 1:1, quartzo e outros minerais mais resistentes ao intemperismo (EMBRAPA, 2018)

	Cátions não hidratados	Mica $x \sim 1$	Mica (T) Mica (D)	Flogopita, biotita , lepidolita, muscovita , paragonita, ilita
		Vermiculita	Vermiculita (T)	Vermiculita
2:1	Cátions trocáveis hidratados	$x \sim 0,6-0,9$	Vermiculita (D)	Trioctaedral Vermiculita Diocetaedral
	Cátions trocáveis hidratados	Esmectita $x \sim 0,2-0,6$	Esmectita (T) Esmectita (D)	Saponita, hectorita, sauconita, montmorilonita , beidelita , nontronita

(1) x = carga da camada por unidade de fórmula estrutural baseada em meia cela unitária

(2) D = dioctaedral e T = trioctaedral

A seguir são apresentados os principais argilominerais encontrados nos solos brasileiros e as marcantes características de alguns deles.

A caulinita confere ao solo as características de carga variável, garantindo a ele a possibilidade de retenção de ânions em pH ácido e de cátions em pH elevado. A Área Superficial Específica (ASE) das caulinitas, em decorrência do seu pequeno tamanho, varia de 100 a 260 m²/g de argila, contribuindo significativamente para a sorção de ânions.

Em comparação com as esmectitas, a caulinita tende a conferir maior estabilidade física (menor plasticidade e capacidade de retenção de água) e menor erodibilidade ao solo, pelo fato de não apresentar capacidade de expansão e de contração com a variação do grau de umidade do solo. Quando associada ao óxido de ferro, a sorção da caulinita aumenta (Kämpf et al., 2012).

Os óxidos, oxi-hidróxidos e hidróxidos de ferro compreendem vários minerais que têm sua formação influenciada pelas condições do ambiente. Sua concentração, que está relacionada com o material de origem, grau de intemperização e seu processo pedogênico de acumulação ou remoção, pode variar de <1 a >5.000 g kg⁻¹. As cores podem oscilar conforme os tipos de óxidos de ferro, imprimindo características aos solos mesmo quando presentes em pequenas quantidades (Kämpf et al., 2012).

Entre os oxi-hidróxidos está a goethita e no grupo dos óxidos, a hematita, ambas consideradas minerais provenientes de fatores ambientais e da atividade da água e da temperatura. Os óxidos de ferro, na maioria das vezes, estão uniformemente distribuídos, resultando na coloração homogênea dos solos; basicamente, as cores avermelhadas se devem à presença de hematita e maghemita, enquanto a cor amarela é decorrente da goethita (Segalen, 1971).

Dos seis óxidos de alumínio, apenas a gibbsita é comumente encontrada, principalmente em latossolos do Brasil Central e Sudeste, e possui como características a baixa cristalinidade e a alta reatividade. Quando em maiores concentrações, a gibbsita dificulta o ajuste face a face das placas de caulinita, o que ocasiona maior infiltração de água, maior porosidade e menor densidade do solo, suplantando, assim, o efeito da textura no comportamento físico desses solos (Kämpf et al., 2012).

4.3 Limitações da aplicação das classificações geotécnicas tradicionais na identificação dos solos tropicais

Os solos podem ser classificados a partir de análises e avaliação de dados físicos, mineralógicos, químicos e morfológicos do perfil que os representam. Além disso, existem fatores que podem influenciar na utilização desses mecanismos de especificações, bem como

aspectos ambientais do local do perfil, a exemplo do clima, da vegetação, do relevo, das condições hídricas e do material originário (EMBRAPA, 2018).

O principal objetivo da caracterização do solo, seja no campo, seja no laboratório, é o entendimento do objeto de estudo por meio de suas características morfológicas, físicas, químicas, biológicas e, ou, mineralógicas.

A constituição dos grãos ou partículas sólidas dos solos é de grande importância em suas propriedades e comportamento, mas, de acordo com Nogami e Villibor (1995), é um aspecto pouco considerado na maioria dos livros tradicionais de mecânica dos solos.

De acordo com Santos (2006), a aplicação das classificações tradicionais aos solos tropicais pode se tornar restrita por não corresponder ao real desempenho nas obras. Esse autor cita que há uma série de deficiências ao utilizar a classificação unificada (limites de consistência) para caracterizar a plasticidade dos solos tropicais. Para Nogami e Villibor (1995), entre as deficiências estão:

- Os valores dos índices nos solos lateríticos variam com a destruição dos torrões ou agregados, não tendo fixado se o mais apropriado seria a destruição total ou parcial dos agregados. Assim, um solo laterítico, como o latossolo roxo, pode variar significativamente os valores das suas propriedades conforme o grau de destruição dos agregados, comprometendo a classificação desse solo, já que depende dos valores do limite de liquidez (LL) e do limite de plasticidade (LP).
- O gráfico de plasticidade não distingue os solos de comportamento laterítico dos de comportamento não laterítico, portanto os mesmos valores de LL e IP podem agrupar solos de comportamentos completamente distintos.

Na arquitetura e construção com terra é comum a utilização dos ensaios de granulometria e limites de consistência como propriedades quanto à caracterização e escolha do solo. Entretanto, Nogami e Villibor (1995) citam, em estudos com as mesmas amostras enviadas para os mais conceituados laboratórios do Brasil para realização dos limites de consistência, resultados dos limites de liquidez variando de 62% a 97% e índice de plasticidade de 24% a 55%. Tais condições tornam inviáveis limites rigorosos para esses índices, uma vez que sua determinação sofre considerável influência do operador.

A aplicação da mecânica dos solos tem se intensificado no Brasil ao longo dos anos, desde a década de 1990, principalmente na busca da solução de problemas que estão vinculados às construções rodoviárias, pelo fato de que foram encontradas várias discrepâncias entre as previsões efetuadas de acordo com os princípios desenvolvidos por essas especificidades e o real comportamento dos solos nessas obras. Tais desconformidades têm sido atribuídas, em geral, às peculiaridades dos solos e ao ambiente tropical onde estão inseridos. Para que essas divergências possam ser devidamente consideradas, é necessário que sejam caracterizadas apropriadamente (Santos, 2006).

Em decorrência de diversas incompatibilidades encontradas ao longo dos anos entre as análises que se deram através das classificações tradicionais em solos de países de clima tropical e o comportamento geotécnico apresentado por eles em campo, surgiu a necessidade de uma especificação desenvolvida exclusivamente para solos tropicais. Dessa maneira, Nogami e Villibor (1995) propõem alguns métodos para identificação de solos tropicais, destacando-se entre eles o ensaio de classificação MCT (Miniaturas de corpos de prova compactados mediante o método das pastilhas) (Nogami e Villibor, 1994b *apud* Santos, 2006; Godoy; Bernucci, 2002 *apud* Santos, 2006). Apesar dessas propostas e da frequente aplicação de tais ensaios em outras áreas, principalmente em pavimentações, pouco têm sido aplicado e pesquisado na arquitetura com terra.

De acordo com Pinto (2006), a primeira característica que diferencia os solos é o tamanho das partículas – que são compostas pela fração grossa, ou grosseira, do solo, caracterizadas pelo conjunto de areia e pedregulho – e a fração de finos do solo – compostos pelo conjunto de silte e argila. De acordo com Ribeiro et al. (2012, p.61), a textura do solo está relacionada

à proporção relativa das diversas frações granulométricas que o compõem. Segundo esses autores,

a subdivisão das partículas do solo em diversas frações foi feita, procurando-se relacioná-las com o comportamento físico-químico que as partículas apresentam, especialmente, com relação aos seus efeitos de superfície livre.

Os ensaios referentes à análise granulométrica realizados nos laboratórios de mecânica do solo são feitos de acordo com as prescrições apresentadas pela Norma NBR7181 (ABNT, 2016), que prescreve o método para análise granulométrica de solos pelo peneiramento ou pela combinação de sedimentação e peneiramento. A partir desses ensaios, busca-se quantificar os diversos tamanhos apresentados pelas partículas presentes em uma amostra de solo.

Há consenso na engenharia geotécnica de que o condicionamento de formação do solo (origem mineralógica), mais especificamente das argilas, é fundamental na determinação de suas características, embora não seja possível uma previsão ou compreensão de suas propriedades somente pela análise granulométrica.

Portanto, fica claro que, para melhor entender a qualidade das argilas no solo e suas implicações, precisa haver a compilação de ensaios e não somente a granulometria e limites de sua consistência, conforme relatam alguns autores.

Apesar da importância e ampla utilização dos limites de consistência como parâmetro de caracterização do solo, Souza (2011) ressalta em sua pesquisa diversas limitações dos ensaios para determinação desses limites. Entre essas limitações, esse autor cita a sensibilidade dos solos à baixa plasticidade, aos aspectos físicos do mecanismo de Casagrande e à técnica do operador.

Por esses motivos, a caracterização do solo somente pela granulometria e pelos limites de consistência pode ser ineficiente, sobretudo quando aplicados aos solos tropicais, que possuem peculiaridades quando comparados com solos formados em climas temperados.

Vale (2020) pesquisou, em sua tese de doutorado, as potencialidades do ensaio de adsorção de azul de metileno como indicador do grau de atividade das partes finas dos solos tropicais, buscando elaborar uma metodologia para seu uso no processo de decisão sobre o tipo de solo a utilizar em construções históricas e contemporâneas de adobe. Com base nos resultados das análises da pesquisa, os adobes produzidos com certos tipos de solos tropicais com granulometrias fora dos padrões indicados por normas e referências de adobe apresentaram boa resistência à compressão. Por fim, diante dos resultados das análises das equações de regressão linear múltipla, concluiu-se Segalen (1971) que o ensaio de adsorção de metileno é importante ferramenta a ser adotada como ensaio complementar para a escolha do solo para a produção de adobe com resistência adequada à compressão – segundo parâmetros de normas e documentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, a identificação dos argilominerais presentes nos solos tropicais é de extrema importância para o estudo geotécnico e sua aplicação na arquitetura e construção com terra. Os solos tropicais apresentam características peculiares devido aos processos geológicos e pedológicos que ocorrem nessas regiões, resultando em variações mineralógicas significativas. A constituição mineralógica dos solos tropicais influencia diretamente seu comportamento hidráulico e mecânico, afetando as propriedades físicas e químicas e, conseqüentemente, a qualidade das técnicas de terra aplicadas.

A presença de argilominerais nos solos tropicais desempenha um papel crucial no comportamento desses solos, com características como grande superfície específica, cargas elétricas negativas, plasticidade quando umedecidos e variações volumétricas quando secos. A natureza dos argilominerais, como caolinitas, illitas e montmorillonitas, influencia o grau de floculação e dispersão das partículas em suspensão aquosa. Além disso, a presença de óxidos de ferro e alumínio hidratados nos solos lateríticos contribui para a formação de

agregados e propriedades cimentantes.

Devido a essas características, não é recomendado a indicação de parâmetros de granulometria determinando um limite de porcentagem para a fração de argila para técnicas de construção com terra com solos tropicais, uma vez que o resultado desse ensaio pode não corresponder à sua real composição devido à propriedade cimentante dos argilominerais e que, quando alta concentração e caulinita, seu comportamento pode ser de baixa retração, mesmo com alta porcentagem dessa fração.

Além disso, é necessário pesquisar também ensaios que permitam verificar com maior precisão o comportamento das argilas tropicais pois os ensaios de consistência têm demonstrado pouca precisão em casos relatados na literatura.

A compreensão da mineralogia dos solos tropicais, especialmente dos argilominerais presentes, permite uma melhor caracterização desses solos e a adequação das técnicas de construção com terra. Isso é especialmente relevante considerando as particularidades dos solos tropicais, como a laterização e a presença de minerais específicos, que podem afetar o comportamento hidráulico e mecânico dos solos.

Portanto, a identificação e compreensão dos argilominerais nos solos tropicais são fundamentais para o desenvolvimento de projetos e técnicas construtivas adequadas, visando à qualidade e durabilidade das estruturas de terra. A pesquisa e o estudo contínuos nessa área são essenciais para ampliar o conhecimento e aprimorar as práticas de construção sustentável, levando em consideração as propriedades específicas dos solos tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 7181 (2016). Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas
- EMBRAPA (2018). Sistema Brasileiro de classificação de solos (SiBCS). Rio de Janeiro, RJ: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- Kämpf, N.; Curi, N. (2012). Conceito de solo e sua evolução histórica. In: SBCS (Ed.). Pedologia: fundamentos. Viçosa, MG. p. 343. ISBN 978-85-86504-09-9.
- Mello, I. S.; Carvalho, M.; Ferreira, J.; Cogo, J.; Silva, R.; Guerra, D. (2011). Revisão sobre argilominerais e suas modificações estruturais em ênfase em aplicações tecnológicas e adsorção - uma pesquisa inovadora em universidades. Revista de Ciências Agro-Ambientais, v. 9, n.1, p. 141-152.
- Mitchell, J. K.; Soga, K. (2005). Fundamentals of soil behavior. New York: John Wiley & Sons.
- Neves, C. M.; Faria, O. B.; Rotondaro, R.; Cevallos, P.; Hoffmann, M. V. (2009). Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra – Práticas de campo. https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/2b_PP-Selecao-de-solos_2010.pdf
- Neumann, M. G.; Gessner, F.; Cione, A.; Sartori, R.; Cavallheiro, C (2000). Interações entre corantes e argilas em suspensão aquosa. Química Nova, 23 (6), p. 818-824.
- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1995). Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Villibor.
- Oliver, P. (1997). Encyclopedia of vernacular architecture of the world. New York: Cambridge University Press.
- Pinto, C. de S. (2006). Curso básico de mecânica dos solos. São Paulo: Oficina de Textos.
- Ribeiro, M. R.; Oliveira, L. B.; Araújo Filho, J. C. (2012). Caracterização morfológica do solo. In: (ed.). Pedologia: fundamentos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Santiago, C. C. (2001). Solo como material de construção. 2. Salvador: EDUFBA.
- Santos, E. F. D. (2006). Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais. 2006. Dissertação de mestrado. Brasil: Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

Scapin, M. A. (2003). Aplicação da difração e fluorescência de raios-X (WDXRF): ensaios de argilominerais. 2003. Dissertação de mestrado. Brasil: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, USP.

Segalen, P. (1971). Metallic oxides and hydroxides in soils of the warm and humid areas of the world: formation, identification, evolution. In: UNESCO (ed.). Soil and tropical weathering. Paris. p. 25-28.

Souza, P. M. L. P. de (2011). Limite de liquidez: correlações e comparações entre os métodos de fall cone e da concha de casagrande. Dissertação de mestrado. Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Souza, R. C. O.; Carvalho, S. M. L. (2015). Adsorção de azul de metileno por argila: influência da presença de matéria orgânica. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 6995-7002.

Torgal, F. P.; Jalali, S. (2009). Construção em terra: algumas considerações sobre seleção de solos. Conferência Engenharia. Corvilhã, Portugal.

Vale, J. L. R. (2012) Técnicas vernaculares, preservação e sustentabilidade: um estudo de caso da técnica de adobe no distrito de Vitoriano Veloso (Bichinho), Prados, Minas Gerais. 2012. Dissertação de mestrado. Brasil: Escola de Arquitetura e Urbanismo, UFMG.

Vale, J. L. R. (2020). Seleção de solos tropicais para produção de adobe: a utilização do ensaio de azul de metileno. Tese de doutorado. Brasil: Escola de Arquitetura e Urbanismo, UFMG.

Young, A. (1978). Tropical soils and soil survey. Soil Science, 125(6)

AUTORES

Jaqueline Leite Ribeiro do Vale, Professora Adjunta do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFV. Doutora e Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (UFMG). Especialista em Sistemas Tecnológico e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído (UFMG). Graduada em Arquitetura e Urbanismo (Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix). Membro e coordenadora (2019-2023) da Rede TerraBrasil e membro parceira da Rede PROTERRA.

Marco Antônio Penido de Rezende, Professor Titular Escola de Arquitetura da UFMG. Graduação em Arquitetura e Urbanismo (UFMG, 1987), Mestre em Arquitetura e Urbanismo (UFMG, 1998), Doutor em Construção Civil (Politécnica/USP, 2003). Pós-Doutorado Programa Preservação Histórica, Universidade de Oregon, EUA (2010). Membro fundador da Rede Ibero Americana Proterra e da Rede TerraBrasil (coordenador 2016-2017).