

TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS EXPANSIVOS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DESSES PROCEDIMENTOS

Frederico Flores Dacach¹; Larissa da Silva Paes Cardoso²

¹ Bolsista;

Iniciação científica – FABESP; fred17052002@gmail.com

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; larissa.paes@fieb.org.br

RESUMO

Solos expansivos são solos predominantemente argilosos, não saturados, que usualmente expandem pelo aumento do teor de umidade e retraem por secagem, o que tende a ocorrer de forma cíclica, devido a dinâmicas climáticas sazonais. A variação de volume que ocorre no terreno pode gerar tensões de expansão em obras de engenharia, resultando em diversos danos em edificações leves e pavimentos. A expansividade de um solo pode ser atribuída a diversos fatores, que podem ser divididos em três grupos: propriedades do solo (mineralogia, sucção, estrutura, interação química com a água, etc.); condições ambientais (variação de umidade, clima, relevo, vegetação, etc.) e estado de tensões do solo. No Brasil esse solo se encontra predominantemente no nordeste, impactando a região negativamente na área da construção. Sendo assim, essa pesquisa tem por objetivo destacar algumas técnicas para a estabilização desse solo expansivo junto a métodos para avaliar os seus resultados, que será mediante revisões bibliográficas.

PALAVRAS-CHAVE: Solos expansivos; Estabilização; Massapê.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, existe uma bacia sedimentar importante, chamada Bacia do Recôncavo, constituída por solos altamente expansivos chamados, popularmente, de massapê. O massapê tem um comportamento bem característico devido ao ciclo de expansão e retração que ocorre com a variação do teor de umidade. O fenômeno de expansão dos solos é bastante complexo e envolve um conjunto de fatores que influenciam e interagem entre si, tais como composição dos argilominerais e fatores ambientais como clima da região, natureza do fluido, grau de saturação do solo, etc. Nesse contexto, solos expansivos ocasionam sérios problemas técnicos durante a implantação e operação de obras de engenharia, em especial em pavimentos rodoviários, devido a sua grande instabilidade frente a variação de umidade.

Para melhorar e estabilizar o comportamento dos solos expansivos, frente à variação do teor de umidade, é comum fazer a substituição parcial e/ou adequação do material por outro mais conveniente para atingir as exigências da construção, dessa forma essa alteração é feita por duas ramificações de técnicas de estabilização, sendo essas: química e mecânica.

- Estabilização granulométrica: quando há a mistura de dois ou mais solos diferentes para assim atingir uma curva granulométrica adequada, aperfeiçoada ao reorganizar suas partículas sólidas.
- Estabilização química: realizada a partir de aditivos, como a cal e o cimento, cujo objetivo é modificar as características do solo fazendo interações fundamentadas em reações químicas, troca catiônica dentre outras.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo foram escolhidos artigos e trabalhos relevantes para o propósito pretendido, que consiste em discutir o fenômeno de expansão dos solos e suas respectivas abordagens de tratamento para a sua estabilização, conforme descrito na literatura especializada. Os estudos desenvolvidos foram provenientes de plataformas como Google Acadêmico, Periódicos Capes e ScienceDirect, utilizando publicações dos últimos 30 anos. Após a leitura desses artigos e resumos, os trabalhos que tinham um maior direcionamento em relação ao tema pesquisado foram selecionados e realizado sua leitura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir será apresentado algumas das técnicas para a estabilização do solo expansivo, apresentando suas vantagens e desvantagens.

3.1. Adição de Areia

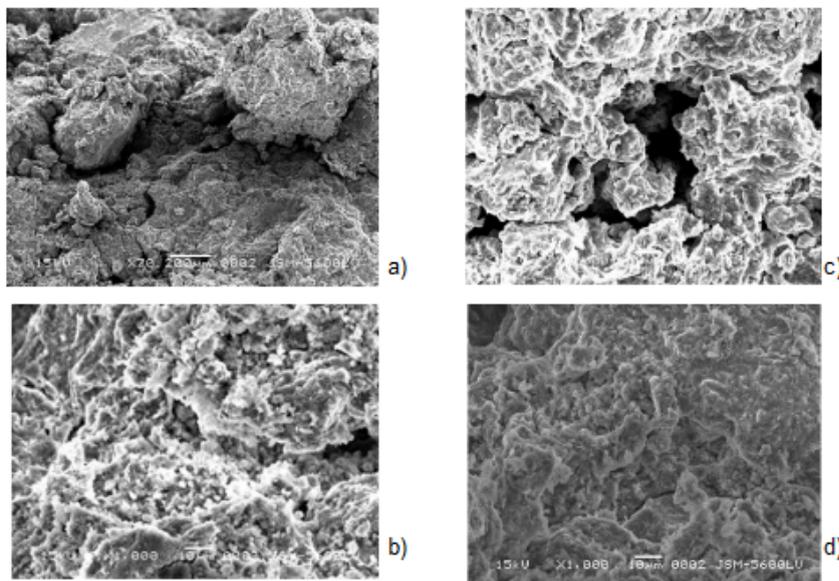
Uma estratégia promissora para estabilizar esses materiais é através da modificação granulométrica, usando misturas dos solos expansivos com areia e/ou agregados. Uma pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco [1] investigou diferentes teores de areia (10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 75%) para tentar estabilizar o solo expansivo de Ipojuca-PE. A análise do solo revelou que 100% dele passou pelas peneiras #10 e #40, enquanto 95% passou pela #200, com LL=72% e IP=16, constatando que a adição pouco variou a plasticidade. O autor observou também uma redução significativa, de 94% nos valores de tensão de expansão, diminuindo de 55,8 kPa para 3,3 kPa, considerando a adição de areia de 75%, assim como na expansão livre, que variou de 20,5% para 1,9%. Porém, caso a compactação seja realizada abaixo da umidade ótima, a Tensão de Expansão e a Expansão Livre atingirá um potencial maior tendo um acréscimo de 146% e de 28% em relação aos valores com umidade ótima, respectivamente.

3.2. Adição de Cal

Uma pesquisa da Universidade Católica de Pernambuco [2] investigou a estabilização de um solo expansivo da região de Ipojuca-PE utilizando cal hidratada. As características granulométricas do solo mostraram que 100% passaram pela peneira #10, 95% pela #40 e 83% pela #200, com LL=81% e IP=37. Diferentes teores de cal, de 1% a 11%, foram empregados. Os resultados indicaram que o teor de 11% se destacou, reduzindo tanto a expansão livre de 14% quanto a tensão de expansão de 240 kPa para valores insignificantes. Os estudos visam reduzir o potencial de expansão do Massapê, utilizando produtos químicos como cal e um estabilizante comercial para solo. Assim, observaram uma redução de 90% na tensão de expansão, caindo de 100 kPa, no estado natural do solo, para 10 kPa com a adição de 1% de cal e 0,1% de estabilizante.

Nas figuras a seguir pode-se observar a microestrutura das misturas de solo-cal que revelam micro agregados que se comportam como grãos "pseudo-siltes", os quais se acomodam devido à aplicação de esforço, resultando em vazios entre eles. Essas misturas exibem microporosidade nas bordas dos microagregados, uma característica ausente no solo natural, resultante da interação da cal com o plasma. A formação de microporosidade é consequência das reações entre a cal e o material do plasma, resultando na formação parcial de uma assembleia cristalina nas bordas dos microagregados, o que parcialmente preenche os vazios, assim conferindo maior estabilidade à microestrutura.

Figura 1: Elétron-micrografias a) solo natural compactado b) solo + 3% de cal c) solo + 5% de cal d) solo + 7% de cal



3.3. Adição de Cimento Portland

Um estudo na Universidade Federal de Campina Grande [3] propôs avaliar o comportamento do solo expansivo ao adicionar cimento portland, utilizando o CP V- ARI, para os teores de 4; 6; 8% e densidade de compactação de 14; 15; 16 kN/m, em uma umidade de compactação de 21,80% e um solo com composição de Areia 10,58%, Silte 43,96% e Argila 45,46%, tendo $LL = 49,44\%$ e $IP = 28,99\%$ e tendo uma umidade ótima de 21,80% e peso específico seco máximo de $15,5 \text{ kN/m}^3$ para o solo estudado. Foi observado que quanto maior o teor de cimento maior a resistência à compressão simples, tendo uma variação linear. Junto a isso, identificou-se mais uma vez que para maior compactação ou maior teor de cimento obtêm-se maiores valores de resistência, assim a relação η/Civ (porosidade/teor volumétrico de cimento) pode ser utilizada para a dosagem de cimento; ambas as conclusões podem ser observadas nas imagens dos gráficos abaixo, respectivamente.

Figura 2: Variação da resistência à compressão simples em relação à quantidade de cimento das amostras

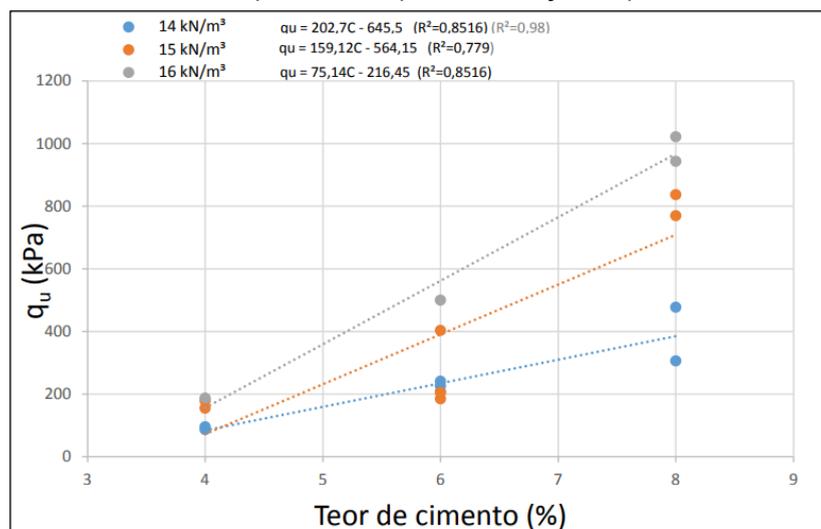
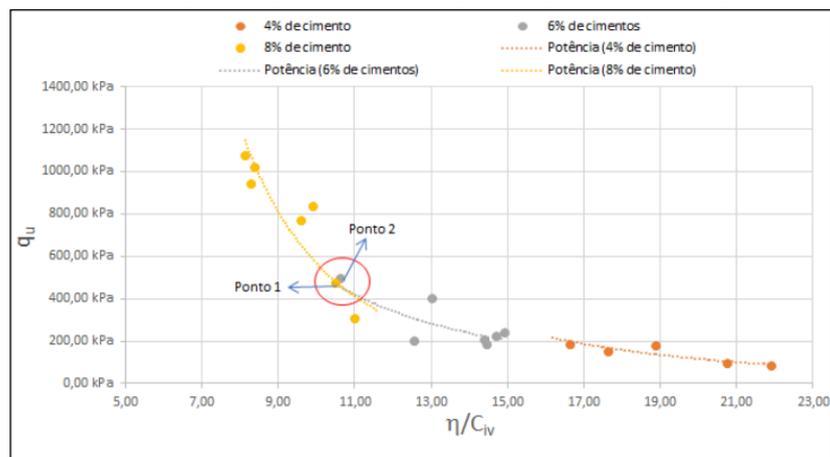
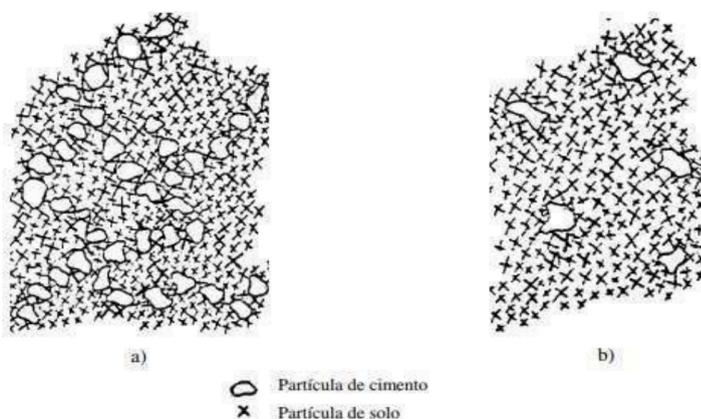


Figura 3: Relação entre porosidade/teor volumétrico de cimento e a resistência à compressão simples para os corpos de prova curados (curvas para cada teor)



Um dos mecanismos que contribuem para o aumento da resistência mecânica do solo é a ação aglutinante do cimento, que solidifica as partículas de solo. Este efeito é mais evidente em teores mais elevados do aditivo, nos quais ele forma núcleos interligados distribuídos pela massa de solo, enquanto para teores mais baixos observa-se principalmente uma modificação na fração argilosa do solo, reduzindo sua plasticidade, podendo ou não ocorrer um aumento da resistência mecânica, uma vez que o aditivo forma núcleos independentes na massa de solo, pode-se observar esses dois exemplos nas imagens abaixo.

Figura 4: Esquema de solo com: a) alto teor em cimento; b) baixo teor em cimento



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos expansivos se caracterizam por apresentar grande instabilidade frente a variação de umidade, ocasionando diversos problemas técnicos durante a implantação e operação de obras de engenharia, em especial em pavimentos rodoviários.

Para melhorar o desempenho desses materiais, os solos expansivos podem ser estabilizados de forma química, física ou mecânica. A opção por um ou outro método de estabilização é influenciada por uma série de fatores, dentre os quais se destacam: os fatores econômicos, a finalidade da obra, as características dos materiais e as propriedades do solo que devem ser corrigidas. Os principais resultados dos trabalhos analisados comprovam que os métodos de estabilização do solo são mais eficazes quando há também aumento da resistência mecânica. Por outro lado, há oportunidade para novas técnicas e metodologias de estabilização de solos expansivos, focadas principalmente na questão ambiental e na composição química dos agentes estabilizantes.

5. REFERÊNCIAS

- ¹PEREIRA, Ítalo. **CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DO MASSAPÊ COM AREIA PARA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO SEU USO COMO CAMADA DE SUBLEITO DE PAVIMENTO RODOVIÁRIO**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas-BA. 2022.
- ²PAIVA, Sergio Carvalho; LIMA, Márcia Alves de Assis; FERREIRA, Maria da Graça de Vasconcelos Xavier; FERREIRA, Silvio Romero de Melo. **Propriedades geotécnicas de um solo expansivo tratado com cal**. Matéria (Rio de Janeiro), 2016
- ³BRAZ, Raabi. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE UM SOLO EXPANSIVO DO MUNICÍPIO DE PAULISTA-PE MELHORADO COM CIMENTO PORTLAND**. Universidade Federal de Campina Grande. Campus I - Campina Grande - PB. 2018
- ⁴GOMES, Hanna; SILVANI, Carina. **SOLOS EXPANSIVOS: MECANISMOS DE EXPANSÃO E TRATAMENTO**. 7Conapesc.
- ⁵MALQUIAS, Gabriela; ALMEIDA, Mario; COSTA, Weiner; GALINDO, José; GOMES, Lucas. **Caracterização e Classificação de Solos Típicos do Recôncavo Baiano para Fins Rodoviários**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. 2020
- ⁶ATAÍDE, Stive Osca Falcão de. **Análise do comportamento de variação de volume devido à inundação de um solo expansivo quando misturado com areia**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- ⁷TENÓRIO, Eduardo; SILVANI, Carina; RAMALHO, Letícia; BRAZ, Raabi; AGUIAR, Paula. **Avaliação da Resistência a Compressão Simples de um Solo Expansivo Estabilizado com Cimento Portland e Resíduos Industriais**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, 2020.
- ⁸OLIVEIRA, Oskar; REIS, Antonio; SILVA, Ítalo; CARVALHO, Miriam. **AVALIAÇÃO DA PRESSÃO DE EXPANSÃO DE SOLOS DA RODOVIA BR-324 TRATADOS QUIMICAMENTE**. UCSal. Salvador - BA, 2018