



## Estabilização de Solos

BRITO, Laís Costa [\[1\]](#)

PARANHOS, Haroldo da Silva [\[2\]](#)

BRITO, Laís Costa; PARANHOS, Haroldo da Silva. **Estabilização de Solos**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 06. Ano 02, Vol. 01. pp 425-438, Setembro de 2017. ISSN:2448-0959

### RESUMO

O solo é um dos principais materiais utilizados nas obras viárias, tem grande disponibilidade na superfície terrestre, possui baixo custo e é pouco nocivo à natureza e a saúde humana. No entanto, é possível que o solo local encontrado a disposição para a execução da obra não apresente as propriedades e características necessárias para suportar os esforços oriundos do tráfego e das intempéries, desta forma, se faz necessário a correção do solo disponível para que este atenda às exigências de projeto. Existem diversos métodos para corrigir e estabilizar os solos, e é fundamental conhece-los para fazer uma escolha correta, tecnicamente e economicamente falando. Com base nisso, foi produzido este artigo de revisão bibliográfica de análise interpretativa e comparativa entre alguns processos de estabilização de solos, trazendo conceitos, classificações, apresentando os diferentes tipos de estabilização e estabilizantes, incluindo as novas tendências de pesquisas científicas neste segmento.

**Palavras-chave:** Solo, Estabilização, Tipos de Solo.

### 1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, as estradas estão presentes na humanidade, atravessando vastas extensões territoriais, ligando dois ou mais pontos possibilitando o deslocamento das pessoas, animais e veículos; em sua maioria com finalidade política, militar, religiosa ou comercial. Apesar da pré-existência de estradas como a Semíramis 600 a.C., a Real 500 a.C., a Susa 300<sup>a</sup>.C. e outras, o início do planejamento e construção viária foi atribuído ao imperador romano Otaviano Augusto, no ano 27 a.C. (BERNUCCI et

al., 2008).

A partir de então, o investimento em construção de infraestrutura rodoviária se disseminou por todo o mundo. No ano de 2015, aproximadamente R\$ 6,3 bilhões de reais oriundos dos recursos públicos foram destinados ao modal rodoviário no Brasil. Isto viabilizou a conclusão de 391 e o início de 146 obras, a execução da duplicação de 329 quilômetros e a restauração e manutenção de 42,7 mil quilômetros de rodovias (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2016).

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas executadas sobre a superfície final de terraplenagem, destinada a resistir aos esforços provenientes do tráfego e do clima, além de proporcionar aos usuários conforto, economia e segurança nas condições de rolamento. A matéria prima de execução das camadas de corpo de aterro, subleito, reforço do subleito, sub-base e base é o solo (BERNUCCI et al., 2008). O manual de pavimentação do DNIT define solo como todo tipo de material orgânico ou inorgânico, inconsolidado ou parcialmente cimentado, encontrado na superfície da terra, ou seja, qualquer material que pode ser escavado sem o auxílio de explosivos.

Como todo material, é indispensável conhecer e caracterizar o solo antes da sua utilização, identificar a natureza e composição do solo, entender o seu comportamento, e estudar as suas propriedades físicas e mecânicas. Ensaio de laboratório tornam possível a determinação de propriedades como composição granulométrica, massa volumétrica, limites de consistência, retração, teor de umidade e grau de compactação. Estas características permitem aferir a adequabilidade e a necessidade de correção da composição do solo para determinado uso na construção, e facilitam a escolha da técnica construtiva mais indicada (SANTOS, 2012).

Devido a sua abundância na superfície terrestre, ao baixo custo e ser pouco nocivo à natureza, o solo foi incorporado como material para execução de obras de pavimentação. Entretanto, muitas vezes os solos não apresentam propriedades adequadas para suportar as cargas impostas ao pavimento, sendo assim, se faz necessário a correção do solo disponível no local, para que ele satisfaça os requisitos de projeto. O método de modificação das propriedades dos solos para atender às especificações do projeto chama-se: estabilização do solo (MAKUSA, 2013; SANTOS, 2012).

A estabilização consiste no tratamento do solo, por um processo mecânico, ou químico, tornando-o estável para os limites de sua utilização, e permanecendo assim, mesmo sob a ação de cargas exteriores e ações climáticas (BATISTA, 1976). Entre os principais métodos de estabilização de solos temos a compactação, a correção granulométrica e a adição de estabilizantes químicos; estes podem ser usados individualmente ou em conjunto.

A escolha do tipo de estabilização a ser realizado deve ter viabilidade técnica e econômica, para tanto, é

necessário conhecer melhor os métodos de estabilização de solos, dos mais tradicionais até as novas técnicas disponíveis no mercado. Portanto, este artigo apresenta definições, classificações, tipos de estabilização e estabilizantes, englobando também as novas pesquisas neste campo.

## **2. METODOLOGIA**

No intuito que de promover o conhecimento e facilitar a escolha do tipo de estabilização de solos a ser adotado como solução em determinada situação, este artigo faz uma análise interpretativa e comparativa entre alguns processos de estabilização. Trata-se de um estudo baseado em uma revisão bibliográfica que apresenta o ponto de vista de autores nacionais e internacionais a cerca da estabilização de solos, conta com conceitos e classificações tradicionais já consolidados, e traz também, novos métodos de estabilização que ainda estão sendo estudados e pesquisados na comunidade científica.

## **3. ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS**

O solo é um elemento essencialmente crítico para o sucesso de um projeto de pavimentação, mas nem sempre os solos naturais encontrados atendem às exigências e especificações do projeto. Segundo Medina (1987), as possíveis soluções para esta problemática são evitar ou contornar o terreno ruim; remover o solo ruim e substituí-lo por outro de qualidade superior; projetar a obra para situação de terreno ruim; ou estabilizar o solo existente.

A escolha da solução a ser adotada deve ser feita primeiramente em bases econômicas e práticas, pois é um aspecto determinante na qualidade e custo final da obra. Além disso, fatores como volume de corte e aterro, tipo de solo disponível no local, e distância de transporte das jazidas, caixas de empréstimos e botaforas, também devem ser considerados e ponderados, uma vez que influenciam diretamente nos custos da obra (BATISTA, 1976).

A estabilização de solos é uma prática milenar, desenvolvida a princípio de forma rudimentar, foi sendo aprimorada com o tempo. Tem sido considerada a principal preocupação dos pesquisadores do segmento de geotecnia e engenharia civil, que buscam por soluções mais eficientes e econômicas. É um processo realizado para estabilizar e suplementar as propriedades de resistência do solo, maximizando a adequação deste para um determinado uso. Conforme os autores tradicionais, a estabilização do solo pode ser realizada por métodos mecânicos ou químicos (LAUFER, 1967; MOUSAVI et al., 2017).

A estabilização mecânica é considerada o método mais utilizado e mais antigo na construção de estradas, trata-se de uma melhoria proveniente das mudanças no sistema trifásico, ou seja, alterações na proporção das partes sólidas, líquidas e gasosas. Pode ser realizada por compactação, procedimentos que alteram apenas o arranjo das partículas do solo; ou por correção da granulometria, que é a adição ou retirada de

partículas do solo (MEDINA et al., 2005; LIMA et al., 1993).

Através de uma energia externa de compactação aplicada ao solo, é possível diminuir o número de vazios do solo, desta forma, inibindo a percolação da água e a erosão provocada por ela, aumentando a densidade, a durabilidade, a compacidade, e, conseqüentemente, a resistência mecânica do solo. O método de estabilização por compactação é responsável pela melhoria da estabilidade mecânica de maior parte dos tipos de solo, no entanto, existem casos em que a compactação sozinha não é suficiente, e passa a ser usada em conjunto com outros métodos de estabilização (LITTLE, 1995; MEDINA et al., 2005; SANTOS, 2012).

Por outro lado, a correção granulométrica diz respeito a combinação e mistura de dois ou mais tipos de solos, em proporções adequadas para obtenção de um material homogeneizado, bem graduado, com porcentagem limitada de partículas finas e posterior compactação. Este processo, tem como finalidade garantir a estabilidade do solo e o aumento da resistência mecânica, por meio do contato entre os grãos das partículas maiores e o preenchimento dos vazios pelos grãos das partículas mais finas (VILLIBOR, 1982).

Sob outra perspectiva, quando o solo sofre um processo de estabilização química ele tem sua estrutura mudada, passando a ter maior resistência, menor permeabilidade e compressibilidade do que o solo nativo. Com a adição de estabilizadores ao solo natural, ocorrem reações químicas que ajudam a atingir a umidade ótima para uma boa compactação, promovendo o preenchimento dos poros e assegurando a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do solo, para a obtenção da resistência exigida em projeto. Os resultados alcançados por este processo, dependem principalmente das reações químicas que acontecem entre o estabilizador e os minerais presentes no solo, os estabilizantes utilizados podem ser betumes, cimento portland, cal, pozolana, produtos industrializados ou até mesmo resíduos industriais (MAKUSA, 2013; MEDINA, 1987).

Para a execução de uma estabilização de solo bem sucedida, é necessário a realização de ensaios laboratoriais e testes de campo, embora os ensaios de laboratório resultem em resistências maiores do que o material correspondente do campo, eles ajudam a avaliar a eficácia dos materiais estabilizados em campo e auxiliam na determinação do tipo de estabilizante e de sua quantidade. Estabilidade, força, compressibilidade, permeabilidade e durabilidade do volume são as propriedades do solo que mais interessam aos engenheiros, e a compreensão destas características é crucial para obter a estabilidade do solo (MAKUSA, 2013).

Em suma, os métodos de estabilização de solos são a compactação, a correção granulométrica e a adição de estabilizante químico, essas podem ser usadas separadamente, mas, o mais comum na prática é a combinação entre mais de um método. A escolha do tipo de solução adotada para estabilizar o solo

depende do tipo e das propriedades do solo disponível, da finalidade de aplicação do solo, das exigências de projeto e da viabilidade técnica e econômica das opções disponíveis.

#### 4. ADITIVOS ESTABILIZANTES

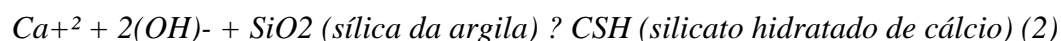
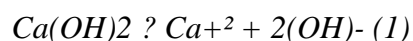
Anteriormente, foi dito que a estabilização química pode ser executada com diferentes tipos de aditivos, como a cal, o cimento, a emulsão betuminosa, pozolanas, produtos industriais e resíduos industriais. No intuito de conhecer as soluções técnicas tradicionais já consolidadas, e apresentar as novas tendências de pesquisas neste segmento, seguem abaixo alguns tipos de soluções técnicas adotadas pela construção civil, para a estabilização de solos em obras rodoviárias.

##### 4.1 Solo-cal

A cal é um aglomerante obtido a partir da calcinação do calcário, existem registros da sua utilização como estabilizante de solos desde o Império Romano, a mais de dois mil anos, na execução da Via Ápia, mas só a partir do século XX seu uso começou a ser difundido, e sua consolidação se deu apenas após a Segunda Guerra Mundial. A estabilização solo-cal consiste na mistura de solo, cal e água em proporções determinadas por ensaios laboratoriais, e é recomendada para melhoria das propriedades dos solos argilosos ou muito siltosos, que possuam alta plasticidade e expansão, além de baixa capacidade de suporte (HENRRIN et al., 1968; LIMA, 1984).

Esta técnica é fundamentada em reações físicas e químicas que ocorrem entre a cal e os constituintes do solo, pode ocorrer por modificação ou estabilização. A modificação acontece devido à troca de cátions de cálcio, fornecidos pelo hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , por cátions presentes no solo argilomineral, incitadas por um ambiente de pH elevado e promovida pelo sistema cal-água. Esse processo também é conhecido como troca catiônica e é parcialmente responsável pela mudança da textura do solo, causada pela floculação de partículas de argila (LITTLE, 1999).

A estabilização por sua vez, é um processo de longo prazo, decorrente da formação de silicatos de cálcio hidratados e aluminatos de cálcio hidratados, produzidos a partir das reações pozolânicas entre o cálcio da cal e os aluminatos e silicatos solubilizados no solo argilomineral. Estas reações dependem de ambientes com pH elevado e da reatividade do solo, ademais elas podem proporcionar a melhoria da capacidade de suporte e resistência mecânica do solo (LITTLE, 1999). As reações de estabilização estão expressas nas equações 1,2 e 3.



$Ca^{+2} + 2(OH)^- + Al_2O_3$  (alumina da argila) ?  $CAH$  (aluminato hidratado de cálcio) (3)

Onde:  $C = CaO$ ,  $S = SiO_2$ ,  $A = Al_2O_3$  e  $H = H_2O$

Alguns efeitos podem ser esperados pela adição da cal no solo, como a modificação da granulometria do solo, devido à ocorrência de floculação; aumento do limite de plasticidade (LP) e diminuição do limite de liquidez (LL); redução das variações de volume dos solos expansivos; redução da densidade e elevação do teor de umidade; além do aumento da resistência à compressão simples.

## 4.2 Solo-cimento

O cimento é um aglomerante hidráulico, considerado um agente estabilizador de solos primário porque não depende dos minerais disponíveis no solo, depende apenas da presença de água, e esta por sua vez está disponível na maioria dos solos. Esta é uma das razões pela qual o cimento pode ser usado sozinho para provocar a ação estabilizadora necessária em vários tipos de solos (MAKUSA, 2013).

A estabilização de solos com cimento refere-se à mistura homogênea entre o solo, o cimento e a água, posterior compactação e cura; a dosagem usada geralmente é determinada a partir de ensaios padronizados pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e pela NBR 12253/93 Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento (FRANÇA, 2003). No Brasil esta técnica teve início em 1940, e está subdividida nas seguintes categorias (MEDINA, 1987):

- Solo-cimento: Mistura homogênea de solo, cimento portland e água, compactada mecanicamente e endurecido por cura. O endurecimento pode ser avaliado por critérios de durabilidade e resistência à compressão simples de corpos de prova. É utilizado comumente como base ou sub-base;
- Solo modificado com cimento: Mistura com baixo teor de cimento que dá origem a um material semiendurecido, com a finalidade de corrigir determinadas propriedades físico-químicas do solo, como a expansibilidade, a plasticidade ou a capacidade de carga. Pode ser usada em base, sub-base ou subleito;
- Solo-cimento plástico: Mistura com consistência de argamassa devido a maior quantidade de água. Geralmente é utilizado para revestimento de valas, canais e taludes.

A escolha do tipo de cimento depende do solo a ser tratado e da força final desejada. As reações químicas no solo estabilizado com cimento começam com o processo de hidratação do grão de cimento, a reação de hidratação é lenta e tem como produto os cristais de etringita (trissulfatoaluminato de cálcio hidratado), a portlandita ( $Ca(OH)_2$ ), a alita (C3S), a belita (C2S) e o monossulfatoaluminato de cálcio hidratado.

Os silicatos de cálcio hidratado (C-S-H) são os principais responsáveis pelo ganho de resistência, sendo a alita responsável pela resistência inicial e a belita pela resistência a longo prazo. Além disso, a

portilândia (hidróxido de cálcio) pode reagir com materiais pozzolânicos disponíveis no solo e produzir mais silicato amorfo cimentante, diminuindo os espaços vazios e aumentando a resistência do solo (MAKUSA, 2013; MEHTA et al., 1994).

Em solos granulares, a adição de cimento cria ligações nos contatos intergranulares aumentando a resistência à coesão; já em solos finos, ocorre a floculação em torno do grão de cimento, ligando o solo por cimentação. De modo geral, os solos estabilizados com cimento têm algumas propriedades melhoradas – redução da coesão (plasticidade), diminuição da expansão do volume, redução da compressibilidade e ganho de resistência mecânica (LIMA et al., 1993; MAKUSA, 2013).

### **4.3 Emulsão betuminosa**

Por ser um material mais caro, o uso de emulsão asfáltica como estabilizante de solo não é tão comum quanto a utilização da cal e do cimento. Nesse tipo de tratamento, o material betuminoso pode ser adicionado ao solo sob a forma fluida ou de óleo, através de regas sucessivas. Essa técnica de estabilização geralmente é usada em solos de granulometria fina e em areias. No caso dos solos de granulometria fina, trata-se de um solo de resistência coesiva, que possivelmente seria suficiente caso o solo se mantivesse seco; por isso o aditivo tem por função promover a impermeabilização do solo. No que diz respeito ao solo arenoso, o betume tem por função a promoção da ação ligante entre as partículas, para conferir coesão ao solo (CRISTELO, 2011; SILVA, 1968).

As emulsões são classificadas em três tipos, de acordo à rapidez com que ocorre a ruptura ao serem misturadas ao solo; as emulsões de ruptura rápida, de ruptura média e de ruptura lenta; alguns destes tipos são subclassificados de acordo com a sua viscosidade. Nas obras de pavimentação as estabilizações solo-betume são executadas com emulsões de ruptura lenta, visto que os outros tipos de emulsões rompem prematuramente. Além disso, deve-se atentar a quantidade de emulsão adicionada, pois quando usadas em excesso o betume passa a agir como lubrificante, diminuindo a estabilidade do solo (CRISTELO, 2011; SILVA, 1968).

### **4.4 Cinza volante geopolimerizada**

A cinza volante é um resíduo mineral inorgânico de estrutura amorfa, obtido pela precipitação eletrostática, ou captação mecânica das poeiras produzidas pela queima de combustível nas centrais termoelétricas a carvão. Existem muitos estudos que discutem o uso de cinza volante para a estabilização de solos, com utilização prática já consolidada, ela pode ser usada como agente estabilizador em bases, subgrades, ou taludes para reduzir a pressões laterais, além de melhorar a resistência à compressão dos solos expansivos (ALSAFI et al., 2017).

As pesquisas mais recentes têm se concentrado no estudo da cinza volante geopolimerizada para estabilizar solos que possuem cálcio em sua composição mineralógica. A cinza volante geopolimerizada age como aglutinante, cobrindo e imobilizando as partículas de cálcio presentes no solo para evitar o contato entre elas e água, impedindo a formação de gesso e etringita, que são as principais causas de propagação de fissuras e colapso do solo endurecido. Além disso, o aglutinante pode fornecer propriedades resistentes ao sulfato (ALSAFI et al., 2017).

Ademais, estes agentes estabilizadores possibilitam ao solo um ganho de força que está relacionado à formação de um gel geopolímero de ligação, o (N-A-S-H), que se desenvolve dentro dos vazios do solo, ajudando a formar uma microestrutura mais compacta e com maior resistência à compressão (ALSAFI et al., 2017).

#### **4.5 CBR PLUS**

Uma nova abordagem para estabilizar solos são os aditivos em micro e nanoescala, o CBR PLUS é considerado como um nanopolímero, é um composto orgânico iônico sintético, derivado do ácido sulfônico, de fórmula geral  $RSO_3H$ , onde R é um radical orgânico. Vale ressaltar que pesquisas sobre a aplicação de CBR PLUS na estabilização de argila são relativamente escassas. A adição de CBR PLUS tem por finalidade transformar a natureza hidrofílica da argila em hidrofóbica, através da formação de camadas oleosas nas partículas de argila e na superfície do solo (MOUSAVI et al., 2017).

O CBR PLUS pode ser usado para estabilizar outros tipos de solos, contanto que tenham índice de plasticidade (PI) maior que 11, e possua em sua constituição um mínimo de 15% de argila. É fabricado com o objetivo melhorar as propriedades dos solos naturais, como: Aumento do Índice de Suporte Califórnia (CBR), aumento da densidade aparente, aumento da resistência a compressão, redução da expansão, diminuição do Índice de plasticidade. Devido ao fato do solo estabilizado com CBR PLUS poder ser usado como camada de rolamento, conta ainda com a redução do desprendimento e controle do pó, e diminuição da formação de buracos e lama (MOUSAVI et al., 2017).

#### **4.6 Nanosílica e cimento**

O tratamento do solo com agentes de cimento misturado à cal, gesso e cinzas volantes, tem sido técnicas de melhoria do solo praticadas por muitos anos. Foram realizadas várias pesquisas para investigar as propriedades mecânicas do solo arenoso tratado com cimento, adicionando zeólita, vidro, fibra, cinzas volantes e fumaça de sílica, estes resultaram no aumento da rigidez, maior resistência ao cisalhamento e à compressão, redução da compressibilidade e permeabilidade do material (CHOBBASTI et al., 2017).

Recentemente, com o advento dos nanomateriais, iniciaram-se novos programas experimentais, um



deles é o estudo do impacto da adição de nanosilica nas propriedades da microestrutura e nas características mecânicas da areia estabilizada com cimento. Estas pesquisas vêm mostrando que a nanosilica contribui para a formação de uma estrutura mais uniforme, proporciona o aumento da intensidade do pico de hidrato de silicato de cálcio e hidróxido de cálcio, resultando em melhorias nas propriedades mecânicas e na microestrutura do solo. Foi constatado também que a adição de partículas de nanosilica na estabilização de solo com cimento aumenta a coesão do material, leva à redução do índice de plasticidade e melhora a resistência do solo (CHOOBASTI et al., 2017).

#### **4.7 Lignosulfonato**

Quando os projetos de engenharia geotécnica devem ser construídos sobre solos fracos e de baixa resistência ao cisalhamento, surgem problemas relacionados à capacidade de rolamento e a estabilização dos solos é um método econômico e duradouro para alcançar as propriedades geotécnicas desejadas (TA'NEGONBADI et al., 2017).

O lignosulfonato (LS) é um estabilizador alternativo, é um subproduto industrial à base de lignina. Anualmente são produzidas mais de 50 milhões de toneladas desse agente em todo o mundo, é relativamente barato, não é tóxico, não prejudica o meio ambiente e não aumenta a fragilidade dos solos hospedeiros. Estudos revelaram que o melhoramento do desempenho mostrado pelo solo estabilizado com LS pode ser atribuído ao declínio da espessura da camada dupla pela neutralização das cargas superficiais das partículas do solo e pela seguinte facilitação de um agrupamento de grãos estáveis (TA'NEGONBADI et al., 2017).

As pesquisas realizadas neste âmbito têm mostrado que a estabilização do solo com o lignosulfonato leva ao aumento da durabilidade do solo, redução considerável no índice de plasticidade (IP), aumento do teor de água ideal para compactação, aumentou a rigidez e a resistência a compressão não confinada do solo sem levar a um comportamento quebradiço, e aumento das propriedades de resistência, que é atribuído à reação eletrostática que ocorre entre a mistura de LS-água e as partículas do solo (TA'NEGONBADI et al., 2017).

Além dos estabilizadores de solo tratados anteriormente, existem vários outros que já são utilizados ou que ainda estão sendo estudados em pesquisas científicas, a exemplo da sílica de biomassa; aditivos à base de magnésio, para solos que possuem sulfato em sua composição; e estabilizadores de solos compostos por mais de um aditivo químico como a mistura de clínquer, cal viva, cinzas volantes e polímero.

#### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base no que foi apresentado até então, pode-se concluir que as obras de estradas e rodovias dispõem de variadas possibilidades de soluções para estabilização de solos; seja ela estabilização mecânica, químicas ou a combinação das duas; do mesmo modo que possuem muitas opções de estabilizantes químicos que podem ser usados. Na prática é comum executar mais de um tipo de estabilização ao mesmo tempo, sendo a compactação junto a correção granulométrica; a adição de estabilizantes químicos e a compactação; ou até mesmo a combinação dos três métodos juntos.

As técnicas de estabilização se diferenciam pela forma com que interagem e reagem com o solo, no entanto, todas têm o propósito de mudar as propriedades e características do solo disponível no local, com a finalidade de melhorar a sua resistência e capacidade de carga, para adequá-lo às especificações de projeto. Desta forma, a escolha do tipo de estabilização de solo a ser utilizada depende basicamente da viabilidade econômica e de quesitos técnicos como as particularidades da obra e do projeto; do tipo de solo disponível; volume de corte e aterro; distância de transporte das jazidas, caixas de empréstimos e bota-foras.

É perceptível também, a influência da nanotecnologia incentivando pesquisas em torno da utilização de nanomateriais como estabilizantes químicos. Por outro lado, tem-se as preocupações ambientais, que afim de diminuir os impactos causados pelo setor da construção civil e torna-lo mais sustentável, atentou-se para o uso de alguns rejeitos dos processos produtivos industriais como estabilizantes de solo, assim possibilitando que estes resíduos se transformem em subprodutos, voltando a cadeia produtiva.

## REFERÊNCIAS

ALSAFI, S.; FARZADNIA, N.; ASADI, A.; HUAT, B. K. **Collapsibility potential of gypseous soil stabilized with fly ash geopolymer; characterization and assessment.** Construction and Building Materials, v. 137, p. 390–409, 2017.

BATISTA, C. F. N. **Ensaio Fundamentais para a Pavimentação e Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis.** Vol. 1, 2ª Edição, Editora Globo, Porto Alegre, RS, 1976.

BERNUCI, L. B.; MOTA, I. M. G.; CERATI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.** Petrobras: ABEDA, Rio de Janeiro, 2008.

CHOBBASTI A. J.; KUTANAEI S. S. **Microstructure characteristics of cementstabilized sandy soil using nanosilica.** Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, JRMGE 361, (2017), doi: 10.1016/j.jrmge.2017.03.015.

CRISTELO, N.M.C. **Estabilização de Solos Residuais Graníticos através da adição de**

**Cal.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) - Universidade de Minho, Braga - Portugal, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (DNIT). **Manual de Pavimentação.** Publicação IPR – 719, Rio de Janeiro: 2006.

HENRRIN, M.; MITCHELL, H. **Misturas de Solo-Cal.** Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação 426, 1968. Rio de Janeiro, Brasil.

LAUFER, B. **Chinese Clay Figures, Part 1: Prolegomena on the History of Defensive Armor.** Kessinger Publishing: Whitefish, 1967.

LIMA, D. C. **Estabilização Solo-Cal.** In: 19ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Rio de Janeiro. Anais... p.67-82, 1984.

\_\_\_\_\_. LIMA, D. C.; BUENO, B. S.; SILVA, C. H. C. **Estabilização dos Solos II: Técnicas e aplicações a solos da microrregião de Viçosa.** Viçosa: Imprensa Universitária - Universidade Federal de Viçosa, 1993.

LITTLE, D. N. (1995). **Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime,** Published by Kendall/Hunt Publishing Company.

\_\_\_\_\_.LITTLE, D. N. (1999) **Evaluation of Stuctural Properties of Lime Stabilized Soils and Aggregates.** Volume 1: Summary of Findings. Prepared for the National Lime Association.

MAKUSA, G. P. **Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review.** Sweden: Lulea? University of Technology, 2013.

MEDINA, J. **Apostila de estabilização de solos – COPPE/UFRJ,** Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_.MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos Pavimentos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2005. hed by Kendall/Hunt Publishing Company.

MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, PAULO J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** Pini: São Paulo, 1ª ed., p. 580, 1994.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Brasil investiu R\$ 26,6 bi em infraestrutura de transporte em 2015.** Portal do Brasil: 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/05/brasil-investiu-r-26-6-bi-em-infraestrutura-de>

transportes-em-2015.> Acesso: 15 de agosto de 2017.

MOUSAVI, S.E., KARAMVAND, A. **Assessment of strength development in stabilized soil with CBR PLUS and silica sand.** Journal of Traffic and Transportation Engineering, (English Edition), JTTE: 142, 2017, doi: 10.1016/j.jtte.2017.02.002.

SANTOS, M. N. **Análise do Efeito da Estabilização Mecânica em Matrizes de Terra.** PUC - Relatório de iniciação científica, Rio de Janeiro, 2012.

SILVA, D. P. **Estudo do Comportamento Reológico de Solos Estabilizados com Cimento, Processos gerais de Estabilização.** Ministério das Obras Públicas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1968.

TA'NEGONBADI, B; NOORZAD, R. **Stabilization of Clayey Soil using Lignosulfonate.** Transportation Geotechnics, TRGEO 131, (2017), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2017.08.004>.

VILLIBOR, D. F. **Estabilização Granulométrica ou Mecânica.** GRÁFICA EESC – USP, São Carlos, SP, 1982.

[1] Engenheira Civil, pós-graduanda em Engenharia Rodrigaria pela Escola de Engenharia de Agrimensura /Salvador-BA

[2] Engenheiro Civil, mestre em Geotecnia pela Universidade de Brasília/DF – Orientador da Escola de Engenharia de Agrimensura /Salvador-BA

-----  
REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO CONHECIMENTO

NC: 10813 - ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/estabilizacao-de-solos>

[www.nucleodoconhecimento.com.br](http://www.nucleodoconhecimento.com.br)