

RESISTÊNCIA MECÂNICA DE MATERIAIS APLICADOS NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

MECHANICAL STRENGTH OF MATERIALS APPLIED IN SOIL STABILIZATION: A LITERATURE REVIEW

Ana Maria Alves de Oliveira¹

Resumo: Obras rodoviárias e outras obras civis envolvem grandes quantidades de materiais e movimentações de terra que poderiam ser minimizadas com o melhor aproveitamento do material do próprio local de construção, através do processo de melhoramento de solo obtido da união com materiais aptos a acrescentar-lhe resistência. Isso porque, quando o solo é carregado, tende a se deformar e essa perturbação altera o fluxo de carga da estrutura, modificando o valor do esforço alcançado no projeto. Pelo exposto, objetivou-se com este trabalho analisar a resistência mecânica de materiais aplicados no melhoramento e estabilização de solos. Diante disso, conhecendo a relevância dessa temática, este estudo foi desenvolvido com o intuito de identificar, na literatura, tratamentos coerentes que favorecem a elevação da resistência do solo. Trata-se de uma revisão integrativa realizada nas fontes de dados científicas: Scientific Electronic

¹ Engenharia pelo Centro Universitário Santa Maria



Online Library (SciELO) e Google Acadêmico. As buscas pelos estudos foram realizadas no período de agosto a dezembro de 2022. Os descritores selecionados para fazer a busca de dados foram: obras rodoviárias, melhoramento de solo e estabilização de solos. Os critérios de inclusão para a seleção dos artigos científicos foram: artigos publicados no período de 2001 a 2017, no idioma português; monografias, teses, dissertações, artigos disponíveis e completos. Os critérios de exclusão foram: publicações de artigos repetidos nas bases de dados. Para implementar a estabilização do solo, muitas questões precisam ser analisadas, no estudo uma delas foi em que o cimento apresenta desempenho estável na estabilização do solo, atingindo índices de ISC acima de 80% para base de acordo com o DNIT. Assim como os mate-

riais alternativos apresentam os valores para aplicação em base e subleito, com a capacidade superior 2% de ISC para o subleito quando aplicado com cinza de lodo e cal atingindo as orientações para utilização na base.

Palavras-Chaves: Obras rodoviárias; Melhoramento de solo; Estabilização de Solos.

Abstract: Road works and other civil works involve large amounts of materials and earth movements that could be minimized with the best use of material from the construction site itself, through the process of improving the soil obtained from the union with materials able to add resistance. This is because, when the soil is loaded, it tends to deform and this disturbance alters the load flow of the structure, modifying the effort value achieved



in the project. For these reasons, the objective of this work was to analyze the mechanical resistance of materials applied in the improvement and stabilization of soils. Therefore, knowing the lineage of this theme, this study was developed with the intention of identifying, in the literature, consistent treatments that favor the inheritance of soil resistance. This is an integrative review carried out on scientific data sources: Scientific Electronic Online Library (SciELO) and Google Scholar. Searches for studies were carried out from August to December 2022. The descriptors selected to search for data were: road works, soil improvement and soil stabilization. The inclusion criteria for the selection of scientific articles were: articles published from 2001 to 2017, in Portuguese; monographs, theses, dissertations, available and com-

plete articles. Exclusion criteria were: publications of repeated articles in databases. To implement soil stabilization, many issues need to be persistent, in the study one of them was that the cement presents stable performance in soil stabilization, reaching SSI rates above 80% for base according to DNIT. As well as the alternative materials, they present the values for application in base and subgrade, with the superior capacity of 2% of ISC for the subgrade when applied with sludge ash and lime reaching the guidelines for use in the base.

Keywords: Road works; Soil improvement; Soil Stabilization.

INTRODUÇÃO

Na engenharia, os especialistas estão sempre em busca de soluções que atendam aos re-



quisitos de projeto e seja economicamente justificado, procurando por novas tecnologias e novos materiais que possam reduzir o tempo de execução de trabalho, consumo de energia e emissões atmosféricas. Além disso, tenta-se reutilizar e incorporar resíduos de outros setores para reduzir o impacto no meio ambiente causado pelas obras e seu custo final (AUTOR, 2022).

A construção de estradas requer uma grande quantidade de materiais e movimento de terra e está frequentemente associado a custos de transporte excessivos, cabendo ao engenheiro fazer a verificação, pelo conforto e segurança do usuário com a solução mais econômica. A economia é possível aproveitando os materiais mais próximos do canteiro de obras (SOLIZ, 2007).

De acordo com SENAT (2014), foi realizado um levanta-

mento sobre as vias rodoviárias no Brasil e foram encontrados os resultados como: 50,1% da extensão total da malha rodoviária está em ótimas condições (42,4%) ou em boas condições (7,7%). Ainda, segundo o autor, 36,7% estão dentro dos parâmetros normais, já que 49,9% apresentaram alguma deformação ou defeitos. Em condições adversas 9,8%; 3,4% foram classificados como muito ruins. Os trechos identificados como críticos variam de ruim a muito ruim, o que corresponde a cerca de 13.017 km de rodovias.

As obras de pavimentação, em geral, demandam grandes investimentos, resultantes do confronto entre o solo e o sistema de pavimentação a ser inserido. Podem-se utilizar técnicas que tencionam o melhoramento do solo, como a adição de cimento a fim de se obter uma melhoria das propriedades mecânicas e conse-



quente aumento na resistência final do solo (CANEPPELE, 2016).

Segundo Foppa (2005), o uso de técnicas tradicionais de engenharia pode ter as seguintes implicações: Alto custo ou restrições ambientais. Como exemplo, o autor cita os altos custos de transporte e danos ambientais associados à exploração de sedimentos para uso granular quando distante do canteiro de obras.

No Brasil, a produção e uso de solo-cimento vem aumentando na construção e estabilização de pavimentos. As estradas nacionais são construídas com uma mistura de solo-cimento compactada, e esse tipo de método é utilizado para reforço e melhoramento do solo (GRANDE, 2003). No entanto, a busca por soluções mais eficientes e com menor impacto ambiental, com as pesquisas e o desenvolvimento de alternativas para estabili-

zar o solo com outros materiais e resíduos, ocasionou o aumento de possibilidades para utilização neste segmento de implantação de solos melhorados para rolamentos e camadas de subestrutura (RODRIGUES, 2012).

A estabilização de solos pode ser realizada por meio mecânico, químico ou físico, com o objetivo de melhorar seus atributos, nomeados: resistência, permeabilidade, compressibilidade, e estabilidade volumétrica (CORRÊA, 2008). Quando o solo recebe carregamento, tende a sofrer deformação e essa perturbação altera o fluxo de carga da estrutura, alterando assim o valor do esforço ganho no projeto. Essa realocação de carga pode causar sérios danos à edificação (ANTONIAZZI, 2011).

Diante desse cenário, métodos e materiais adequados para realizar a estabilização do



solo de acordo com as normas do DNIT são fornecidos para uma solução viável como correção das dificuldades encontradas no solo na implantação das rodovias.

OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é analisar a resistência mecânica de materiais aplicados no melhoramento de solos, realizando um comparativo entre os materiais para a estabilização.

METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma revisão integrada da literatura que especifica uma síntese do assunto teoricamente desenvolvido para proporcionar maior compreensão e esclarecimento, a partir da análise do conteúdo dos textos de estudos já desenvolvidos em

pesquisas anteriores, ou seja, informações de trabalhos referente ao tema já publicados, ampliando novas compreensões a partir dessas pesquisas.

Perante exposto, foi construída a seguinte questão norteadora: Qual o material mais sensível em reforço e estabilização do solo para correção da dificuldade no solo para implantação de uma rodovia?

Como critérios de inclusão para a construção da pesquisa: artigos, monografias, dissertações e teses, sendo elas todas na língua portuguesa, publicados no período de 2001 a 2017. As pesquisas foram feitas pelo Google Acadêmico e Scientific Electronic Library Online (SCIELO), seguindo o tema para a revisão de literatura. As buscas foram realizadas no período de agosto a dezembro de 2022.

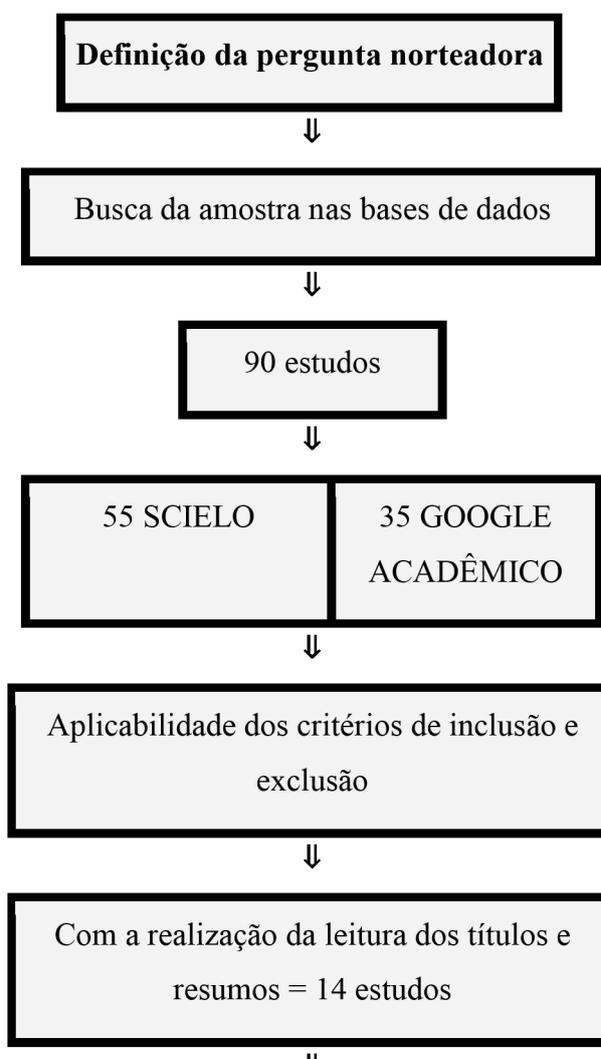
Para este tema, foi rea-



lizado um estudo dos artigos selecionados a fim de consolidar os dados obtidos através dos artigos e apresentá-los de forma sistemática e descritiva. Além disso, os resultados são apresentados de forma qualitativa, permitindo

análise crítica e sistemática, observação, explicação e classificação dos dados com o objetivo de reunir conhecimentos adquiridos no tema desta revisão bibliográfica.

Figura 1: Fluxograma de seleção dos artigos:





Com a leitura na íntegra selecionou-se 06
ESTUDOS PARA AMOSTRA

RESULTADOS

Para ajudar na interpretação dos estudos selecionados para a análise, foram organiza-

dos no quadro 1, estruturados em ordem decrescente, composto por títulos, tratamentos e objetivos.

Quadro 1 - Artigos selecionados

Nº	TÍTULO	ANO	TRATAMENTO	OBJETIVOS
1	Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão.	2015	Estabilização química	Análise de aditivos químicos para estabilização
2	Estabilização de solo residual de Lajeado com adição de cimento e cinza de casca de arroz.	2016	Estabilização química e granulométrica	Investigar a melhoria do solo com adição de cimento e CCA
3	Aplicabilidade de cinzas de resíduo sólido urbano para base de pavimentos.	2010	Estabilização mecânica ou granulométrica	Avaliar a utilização de RSU no melhoramento do solo
4	Avaliação experimental da mistura solo-cimento para aplicação em camadas de base de pavimentação.	2014	Estabilização química e granulométrica	Aplicação prática; Dosagens com teores: 6%, 8% e 10%



5	Estabilização do solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos.	2012	Estabilização química e mecânica	Avaliar o potencial da aplicação da cinza de lodo no solo-cimento
6	Aplicabilidade de cinzas de resíduo sólido urbano para base de pavimentos.	2010	Estabilização mecânica ou granulométrica	Avaliar a utilização de RSU no melhoramento do solo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

USO DE SOLO CIMENTO NA ESTABILIZAÇÃO DO SOLO

De acordo com Cunha (2014), o uso de solo cimento com proporções de cimento de 6%, 8% e 10% tem se mostrado eficaz na compressão com 8% de cimento como sendo o estabilizador de solo e esse percentual indica uma densidade aparente seca máxima de 17,25 KN/m³. Porém, ao analisar o problema entre as cargas máximas de ruptura detectadas das misturas de 6%, 8% e 10%, o percentual atingiu a maior capacidade de tração, sendo que o percentual de 10%

rendeu um valor de 125,10 KN.

No que se refere Sartori (2015), o ensaio Índice de suporte Califórnia (ISC) atende aos requisitos da norma DNIT ES 143/2010 para aplicação de solo cimento como estabilizador de subcamada para estruturas de pavimentos. O ensaio ISC tem que obter no mínimo o valor de 80% presente em seu resultado. Segundo ele, os percentuais utilizados de 7%, 10% e 13% foram suficientes para atender ao requisito mínimo do DNIT. O valor mais baixo obtido no teste ISC de solo cimento foi de 83,6%, superior aos 80% relatados, e o resul-



tado mais alto foi de 117,9% com 13% de substituição do cimento.

Ainda segundo Sartori (2015), o ensaio de ISC utilizando misturas solo-cal apresentaram variabilidade nos percentuais, mas os níveis de 5% e 7% atendem aos requisitos propostos na norma ES 143/2010. Como resultado do teste ISC, o autor pôde ter o menor valor de cal no solo de 81,7% na proporção de 5% de adição de cal na mistura, e o maior valor determinado foi de 91,4% na proporção de 7% de cal sendo adicionado ao solo.

MATERIAIS APLICADOS NO MELHORAMENTO DE SOLO

No que se refere Pereira (2012), um estudo sobre a estabilização do solo usando cimento e cinza de lodo na pavimentação demonstrou aumento da re-

siliência para todas as misturas de solo-cimento suplementadas com a cinza de lodo, sendo que o maior percentual de resiliência foi de 25,87%. Estudos têm mostrado que a incorporação de até 30% (máximo) de cinzas de lodo de esgoto na composição de misturas solo-cimento juntamente compactadas tem trazido ganhos nos parâmetros do solo-cimento sem causar déficit. A resistência teve um índice de melhora em 20%, sendo esse, porém o de melhor desempenho na mistura solo-cimento mais cinza de lodo de esgoto.

Quando testada uma mistura de solo-cimento e adição de cinza casca de arroz para estabilizar o solo, obteve-se uma resistência à compressão simples de 3,74 MPa na mistura com 10% de cimento e 5% de cinza casca de arroz em um intervalo de tempo de pega de 7 dias. Espe-



cificado pela norma 2,1 MPa é a resistência o aceitável, nesse caso superando o valor mínimo estabelecido por norma esse método tem se mostrado eficiente na melhoria das propriedades físicas do solo e no atendimento às exigências de aplicações rodoviárias (RODRIGUES, 2012).

Além disso, quando se aplica 12,5% de casca de arroz (RCA), a resistência é de 1150kPa após 28 dias de endurecimento, mas quando chega a 25%, a resistência diminui à medida que essa relação da casca aumenta, reduzindo a resistência para 800 kPa (FRITSCHER, 2016).

CONCLUSÃO

As diretrizes iniciais do trabalho eram analisar e comparar pesquisas, procurando verificar a estabilização do solo quanto ao cimento e materiais alternati-

vos.

A linha de pesquisa com materiais alternativos é considerada uma alternativa para estabilizar o solo na pavimentação, ou seja, os trabalhos analisados podem determinar se os materiais atendem aos requisitos exigidos para a aplicação em camadas de base de pavimentos e quando não são atendidos. Se não houver condições para serem utilizadas como base então poderão ser usadas como sub-bases. No entanto, materiais alternativos têm sido aplicados em um contexto particular, com diferentes propriedades do solo e desempenho mecânico.

Portanto, para a estabilização do solo com materiais alternativos, todos os requisitos especificados na norma devem ser verificados e seus respectivos parâmetros de exposição atendidos. No entanto, como as neces-



sidades de construção de novas rodovias são amplas, a diversificação dos métodos e materiais de melhoramento do solo facilitará o desenvolvimento da infraestrutura rodoviária nacional, mitigará o impacto ambiental da construção de novas rodovias e reduzirá os custos de construção.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, Juliana F. Avaliação das melhorias das propriedades físicas e mecânicas de solos originados de rochas sedimentares pela adição de cal para fins de pavimentação. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, BR-SC, 2008.

SOLIZ, v. v. p. ESTUDO DE TRÊS SOLOS ESTABILIZA-

DOS COM EMULSÃO

ASFÁLTICA. 2007. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

RODRIGUES, Ricardo Eguilhor. CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO NA CIDADE DE ALEGRETE/RS COM CIMENTO PORTLAND E CINZA DE CASCA DE ARROZ. 2012. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2012.

GRANDE, Fernando Mazzeo. Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-Cimento por Prensagem Manual com e sem Adição de Sílica Ativa. 2003. 16 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.



DNIT-ES 141/2010: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010, 9p.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. Volume 1: fundamentos. 6.ed., rev. e ampl., [9. Impr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

SANTOS, n., Estudo Dos Solos Para Construção Civil Na Cidade De Mossoró RN. 2013. Dissertação em Engenharia Civil - UFERSA, Mossoró-RN, 2013.

Pesquisa CNT de rodovias 2014: relatório gerencial. – Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2014.

BALBO, j. t., Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projeto E Restauração. São Paulo; Oficina de Textos, 2007.

PINTO, Homero Caputo. MECÂNICA DOS SOLOS E SUAS APLICAÇÕES. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2015. 1 v.

FERRAREZI, Rhuanito Soranz. USO, OCUPAÇÃO E CONSERVAÇÃO DO SOLO. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rhuanito_Ferrarezi/publication/274512201_Uso_ocupacao_e_Conservacao_do_Solo_Apostila/links/585d409d08ae8fce48fe5c93/Usocupacao-e-Conservacao-do-Solo-Apostila.pdf. Acesso em: 22 maio 2022.

LIMA, André Barbosa de. O PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND. 2011. 30 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.



versidade Estadual de Campinas

– Campinas, 2008.

BATTAGIN, a. f. (São Paulo). Associação Brasileira de Cimento Portland. Cimento Portland. Disponível em: <https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

BEHAK, L. ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO SEDIMENTAR ARENOSO DO URUGUAI COM CINZA DE CASCA DE ARROZ E CAL. 2007. 150 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola - 2016. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp>. Acesso em 28 de maio de 2022.

SARTORI, Guilherme. ESTUDO DE ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO NA REGIÃO DE CAMPO MOURÃO. 2015. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

MILANI, Ana Paula da Silva. Avaliação Física, Mecânica e Térmica do material solo-cimento-cinza de casca de arroz e seu desempenho como parade monolítica. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Uni-



PEREIRA, Kiev Luiz de Araújo. ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO COM CIMENTO E CINZA DE LODO PARA USO EM PAVIMENTOS. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

GEYER, a. l. Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários como adição ao concreto. Porto Alegre, 2001.

ANTONIAZZI, j. p. (2011). Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande

do Sul, Santa Maria, 139p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. ABNT NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DOS TRANSPORTES (DNIT). Manual de Pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

GOULARTE, Cristina Lemos; PEDREIRA, Celso Luis da Silva. ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE SOLO COM ADIÇÃO DE CIMENTO OU CAL COMO ALTERNATIVA DE PAVIMENTO. 2009. Disponível em: <https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/geors2009/2009-goularte-pedreira.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2022.



- MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. Notas da Aula de Pavimentação. Juiz de Fora: Vídeio, 2006. Color. Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2022.
- TRINDADE, t. p.; lima, d. c.; machado, c. c.; carvalho, c. a. b.; FONTES, M. P. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, M. P. F.; CANESCHI, F. P. Estudo da durabilidade de misturas solo-RBI Grade 81 com vistas à aplicação em estradas florestais e camadas de pavimento convencionais. *Árvore*, v. 29, n. 4 (2005a), p. 591-600.
- CRUZ, Maria de Lurdes Santos da. NOVAS TECNOLOGIAS DA APLICAÇÃO DE SOLO-CIMENTO. 2004. 241 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2004.
- VIZCARRA, Gino Omar Calderón. Aplicabilidade de Cinzas de Resíduo Sólido Urbano para Base de Pavimentos. 2010. 24 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- ROSA, W. de A. Rochas e solos. 2015.
- LORENZO, M. Pedologia – Morfologia: consistência do solo. 2010. Disponível em: <<https://marianaplorenzo.com/2010/10/18/pedologia-morfologia-consistencia-do-solo/>>. Acesso em 18 jun. 2022.
- FIORI, Alberto Pio. FUNDAMENTOS DE MECÂNICA



DOS SOLOS E DAS ROCHAS:
aplicação na estabilidade de talu-
des. São Paulo: Oficina de Tex-
tos, 2015.