

Uma tecnologia de estabilização de solo sustentável chamada Earthzyme

A sustainable soil stabilization technology called Earthzyme

Article Info:

Article history: Received 2022-07-09 / Accepted 2022-08-11 / Available online 2022-08-11

doi: 10.18540/jcecv18iss6pp14558-01e

Gabriel Garcia Bastos de Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7000-5243>

Centro Universitário Maria Milza, Brasil

E-mail: gabriel-almeida07@hotmail.com

Luanna Valéria Sousa Fonseca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2462-3846>

Centro Universitário Maria Milza, Brasil

E-mail: contato.lfonseca@gmail.com

Andréa Jaqueira da Silva Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2334-5488>

Centro Universitário Maria Milza, Brasil

E-mail: andreajsb@gmail.com

Resumo

A enzima earthzyme é uma substância natural não tóxica para estabilização de solo na construção de estradas, esse produto sendo biodegradável tende a substituir a base na construção das rodovias, aumentando a resistência e a eficiência das estradas em quaisquer tipos de clima e região, por um processo de desenvolvimento mais sustentável. Na Bahia-Brasil as estradas sofrem gradativamente a cada ano com problemas em todos os quesitos construtivos, a maioria das suas causas e seus problemas derivam dos leitos onde se encontram as bases e as sub-bases das estradas. A enzima earthzyme que é uma tecnologia de estabilização de solos, no qual já foi utilizado em diversas construções de estradas ao redor do mundo, demonstra uma durabilidade e uma resistência na qual pode ser uma solução aos problemas de instabilidade estrutural de estradas no Brasil. Desta maneira o presente trabalho tem por objetivo comparar as duas técnicas de construção, a utilizada com cascalhos, no qual é feita as rodovias na Bahia-Brasil e as que utilizaram a enzima earthzyme. O percurso metodológico desta pesquisa se baseia na revisão de literatura sistemática de caráter analítico, com um enfoque nas estruturas das estradas construídas na Bahia-Brasil e outras ao redor do mundo utilizando a enzima earthzyme para estabilização de solo. Pode-se concluir que essa nova tecnologia de estabilização de solo natural para construção de rodovias é uma grande alternativa sustentável para as estabilizações das estradas, garantindo uma duráveis e resistentes maior ao longo dos anos.

Palavras-chave: Estradas. Leito. Subleitos. Enzima.

Abstract

The earthzyme enzyme is a natural non-toxic substance for soil stabilization in road construction, this product being biodegradable tends to replace the base in road construction, increasing the strength and efficiency of roads in any type of climate and region, for a more sustainable development process. In Bahia-Brazil, the roads gradually suffer each year with problems in all constructive aspects, most of their causes and their problems derive from the beds where the bases and sub-bases of the roads are located. The earthzyme enzyme, which is a soil stabilization technology, which has already been used in several road constructions around the world,

demonstrates a durability and resistance that can be a solution to the structural instability problems of roads in Brazil. Thus, the present work aims to compare the two construction techniques, the one used with gravel, in which the highways in Bahia-Brazil are built, and those that used the earthzyme enzyme. The methodological path of this research is based on a systematic literature review of analytical character, with a focus on the structures of roads built in Bahia-Brasil and others around the world using the earthzyme enzyme for soil stabilization. It can be concluded that this new natural soil stabilization technology for highway construction is a great sustainable alternative for road stabilizations, ensuring a greater durable and resistant over the years.

Keywords: Roads. Bed. Subgrade. Enzyme.

1. Introdução

A pavimentação é uma estrutura construída sob a terraplanagem e é destinada a resistir e a distribuir todos os esforços verticais dos tráfegos para o solo, também é de fundamental importância para a melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança, resistindo aos desgastes ao longo dos anos. A estrutura de pavimentação que é construída pode variar quanto a sua espessura, aos materiais utilizados e também com a própria função no qual a via foi projetada (SENÇO, 2001).

Os aditivos enzimáticos estabilizantes são produtos com a finalidade de realizar a catalise, resultando na cimentação e impermeabilização das partículas do solos, no qual servem para substituir os produtos convencionais, como cal e cimento. Algumas enzimas são homogeneizadas no solo com água, e assim realizam reações de catalise, produzindo desta forma produtos que se adaptam as partículas minerais, amalgamado e juntando todos os componentes do solo (ALENCAR, et. al, 2019).

Tecnicamente todos os aditivos de enzima são destinados para o uso geotécnico, principalmente para construção rodoviária e para a fabricação de blocos e tijolos, são comercializados em todas as partes do globo, sendo mais utilizados em países desenvolvidos e subdesenvolvidos. (THOMAS et al., 2018).

As construções de estradas por meio de estabilizações de solos por enzimas devem ser estudadas de forma a se desenvolver um projeto elaborado de resistência para garantir a durabilidade e os esforços que serem empregados. É de suma importância conhecer o produto que será utilizado, suas técnicas e seu caráter durabilíssimo de cimentação do solo na composição da base e da sub-base (EIJINE; et al., 2017).

Neste panorama, a composição do leito e subleito para a construção adequada de rodovias e estradas é de suma importância, devido à utilização de materiais adequados e compatíveis as estradas que serão destinada a receber os esforços solicitantes do tráfego. Nesse contexto, o presente artigo tem como o objetivo central realizar um breve estudo acerca da utilização de enzimas de estabilização de solo, com um foco na enzima earthzyme para a construção de rodovias mais resistentes, duráveis e de forma sustentável.

2. Revisão de Literatura

2.1 Construções de estradas na Bahia-Brasil

De acordo com Balbo (2007), as funções dos pavimentos são: apresentar uma superfície mais regular, onde haja melhor conforto para passagem do veículo, uma superfície mais aderente, com mais segurança para pista úmida ou molhada e uma superfície menos ruidosa, com menor desgaste ambiental nas vias urbanas e rurais.

Conforme a DNER (1999), primeiro deve-se definir e especificar os serviços e planejamentos do projeto de pavimentação, que são divididos em pavimento rígido, pavimento semirrígido (subdividido em tradicional ou invertido) e pavimento flexível, a partir disso serão desenvolvidos em duas fases: anteprojeto e o projeto. Na concepção do projeto de pavimentação deve-se selecionar as materiais a serem indicadas para o projeto, o dimensionamento, a concepção do projeto por sub-

trechos homogêneo, cálculo dos volumes e a distâncias de transporte dos materiais empregados. Desse modo, então vira a elaboração do projeto, método de dimensionamento a utilizar será o DNER 33 Roteiro para a Determinação da Espessura de Pavimentos Rígidos apresentados no Volume 3, do Manual de Pavimentos Rígidos, Volume 2. Projeto Dimensionamento, Operação, e Conservação, DNER/IPR, 1989.

A fase de anteprojeto, será elaborada para definir a concepção do projeto, constando do dimensionamento preliminar e soluções estruturais do pavimento, objeto de análise técnico-econômica. O anteprojeto do pavimento fornecerá também os quantitativos aproximados que permitam orçar os diferentes serviços que o compõem a fase de projeto. O projeto de pavimentação constará de estudo do subleito, estabelecimento definitivo dos materiais que formarão a estrutura do pavimento, dimensionamento do pavimento da pista de rolamento, acessos, interseções, áreas externas dos postos de polícia, balanças e demais áreas de instalações para operação da rodovia, desenhos mostrando a seção transversal e a variação longitudinal do pavimento nas pistas de rolamento, acostamentos, acessos e áreas de instalações para operação da rodovia (PASTORE,1998).

Denominamos subleito o terreno de fundação preparado para receber a construção do pavimento. No Brasil, que segue a escola europeia de trabalhar com pisos delgados, o subleito, que na maioria das vezes exerce a função de fundação direta da construção, é a camada no qual é a mais exigida para a transmissão dos esforços recebidos pelo pavimento industrial ao solo.

Perante a DNIT (1974), os pavimentos das bases e sub-bases são as camadas que mais absorvem esforços provenientes do tráfego de veículos, distribuindo de forma atenuada à camada de subleito. Devido a isso tem importância direta na qualidade e durabilidade das rodovias.

Os materiais utilizados para compor as camadas estruturais do pavimento são usualmente constituídos por agregados, solos e, eventualmente, aditivos como cimento, cal, emulsão asfáltica, entre outros, podendo ser classificados segundo o seu comportamento frente aos esforços em: materiais granulares e solos, estabilizados quimicamente ou cimentados e materiais asfálticos (BERNUCCI et. al., 2007).

Segundo Balbo (2007), o pavimento rodoviário é composto por diversas camadas que podem ser divididas nas seguintes proporções: Subleito: é a camada mais interna do pavimento, sendo considerada a fundação do pavimento, ou seja, é o material natural da região onde se pretende inserir o pavimento. Reforço do subleito: é a camada com espessura variável, melhora a capacidade de suporte de carga do subleito, com característica técnica inferior à da camada superior (sub-base), e superior a do material do subleito. Sendo usado, se a capacidade de suporte à carga do material de subleito for muito baixa. Sub-base: é a camada que possui a mesma função da base, é executada sobre o subleito ou o reforço do subleito. Base: é a camada de pavimentação destinada a receber os esforços verticais do tráfego e distribuir as camadas subjacentes. Revestimento asfáltico: é a camada que recebe cargas verticais e horizontais oriundas do tráfego, transmitindo as camadas subjacentes. Além de melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, e resistir aos desgastes. Conforme Figura 1.

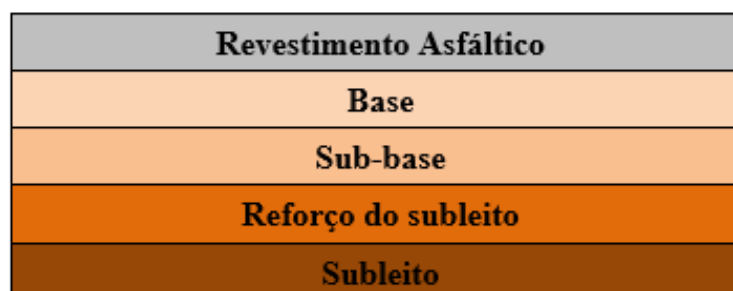


Figura 1 - Camadas de uma estrutura de estrada.

Para se determinar do peso específico seco máximo é realizado estudos em laboratórios pelo método de ensaio de compactação Proctor Normal. Nesse ensaio a energia de compactação normal, do solo é disposto em três camadas em um molde de volume conhecido. A compactação de cada camada é feita através da aplicação de 25 golpes de um soquete de massa padronizada e que cai de uma altura pré-definida. O ensaio é realizado para várias quantidades de água misturada ao solo seco e em cada ensaio o peso específico natural de compactação é determinado pela relação entre o peso do solo compactado e o volume do molde (DAS, 2011).

Conforme Pinto (2002), no Brasil o ensaio de compactação Proctor Normal, padronizado pela norma NBR 7.182/1986, é feita com 26 golpes de soquete, devido ao fato do cilindro padronizado no país possui dimensões diferentes das utilizadas em normais internacionais. A quantidade maior de números de golpes possibilita então, o ajuste de energia de compactação da norma brasileira em relação às demais normas.

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) para classificação e uso de materiais das camadas de pavimentação, os valores mínimos de CBR exigidos para cada camada são as seguintes: “Subleito: CBR mínimo de 2 a 3%; Reforço do Subleito: CBR maior que o da camada de subleito; Sub-base: valor mínimo de 20%; Base: para tráfego $N \leq 1 \times 10^6$ CBR $\geq 60\%$ e CBR $\geq 80\%$ para $N \geq 1 \times 10^6$ ”.

Segundo Bonafé e Specht (2005), deve-se conhecer bem o tipo de solo e os materiais que são utilizados para aplicação nas camadas de pavimentação, pois em alguns casos, em condições naturais, o solo não atende tecnicamente o suficiente todos os requisitos necessários para suportar as estruturas das estradas. Nessa perspectiva deve-se utilizar materiais para estabilizar e criar resistência capaz de suportar os esforços solicitantes.

2.2 Enzimas de estabilização de solo para estradas

A utilização de enzimas para a estabilização de solo demonstra uma grande vantagem devido à alta resistência do solo para receber os esforços solicitantes das rodovias, tem maior custo-benefício e ainda reduziu em pequenos níveis a umidade dos solos. Porém uma desvantagem significativa é o tempo de cura que as enzimas precisam para enrijecer (SAMPAIO, 2019).

Para Araújo e Barroso (2007), a construção da base e da sub-base por meio de enzimas de estabilização de solo é feita por estabilização mecânica ou com a incorporação de aditivos químicos como cal, cimento, betume, sais minerais ou outros componentes à base de enzimas.

“Estabilizar um solo é utilizar um processo de qualquer natureza física, físico-química ou mecânica de forma a torná-lo estável para os limites de sua utilização e ainda fazer com que a estabilidade alcançada permaneça sob ação das cargas exteriores e ações climáticas variáveis” (TEIXEIRA, p.18, 2014)

Para estabilizar o solo, o requisito mais primordial é a resistência e a durabilidade. Para isso atualmente se utiliza bastante enzimas com esse propósito de forma a suprir todas as necessidades do solo. (BAPTISTA, 1976).

Existem alguns benefícios com a estabilização do solo na construção das estradas, tais como economia na escavações para substituir os solos locais, sem interrupções no cronograma nas áreas onde o clima e meteorologia podem acarretar dificuldades ao longo do ano, problemas com a importação de material adequado quando a obra se torna um fator negativo, redução das espessuras das camadas que compõem a estrutura do pavimento quando o subleito está estabilizado (MUKESH; PATEL, 2012).

De acordo com a Cypher (2016), a enzima earthzyme é um produto orgânico derivado da cana-de-açúcar, obtido por ação enzimática e no qual apresenta polaridade definida positiva, o solo que é destinado ao uso, normalmente solo argiloso, apresentado uma polaridade negativa. Quando se aplica a enzima estabilizadora, o solo passa a apresentar um sistema bipolar, ou seja, com dupla carga, ficando desta forma com uma estrutura eletricamente estável e muito coesa, passando a apresentar maior impermeabilidade, devido as moléculas estarem unidas de tal forma que impede a passagem de água entre elas. No uso da enzima não há reação química, não ocorre catalise e sim um

rearranjo elétrico. Pode-se dizer que o produto atua como aglutinante, pois tem a capacidade de aproximar as moléculas.

Ainda de acordo com o autor supracitado (2016), antes de se fazer quaisquer aplicações com a enzima para a estabilização, uma análise do solo deve ser realizada para garantir que o mesmo é bem adequado para ser utilizado o earthZyme, pois os componentes de sua enzima são de três elementos, que permitem a penetração nos solos à base de argila, e o tornem viável para a estabilização.

3. Materiais e Método

O presente estudo constitui uma revisão de literatura sistemática de caráter analítico acerca da construção de estradas feitas no Brasil com a utilização de cascalho para as bases e as sub-bases e das estradas feitas com a enzima earthzyme para a regularização do solo dos leitos. O recolhimento dos dados ocorreu no período de Janeiro a Dezembro de 2021 através das bases de dados Periódicos Capes, SciELO e Google Acadêmico. Foram analisados diversos artigos, dissertações, teses e livros, disponibilizados nas plataformas supracitadas. Para se escolher os materiais pertinentes para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizados descritores nos bancos de dados, as palavras: estradas, construção de estradas, subleitos, enzimas, earthzyme, estabilização de solo, base de estradas, pavimentação, rodagem, entre outros. Com a devida seleção do material, se realizou uma leitura extensiva, selecionando os melhores materiais no qual se adequasse aos objetivos dessa pesquisa e por fim o desenvolvimento deste artigo.

Para a análise dos dados conduziu-se sob o método de Minayo (2001), que se divide basicamente em três partes: análise prévia do conteúdo apresentados pelos autores (organização dos dados); exploração do conteúdo de cada artigo (leitura e confronto dos dados apresentados pelos autores) e tratamento dos dados (interpretação das informações obtidas).

4. Resultados e Discussão

Para quaisquer construções, reformas ou desenvolvimentos de estradas e rodovias devem ser realizados estudos específicos para se ter uma boa qualidade da pista. Deve-se estudar todo o trecho que será desenvolvido a estrada juntamente com todo o solo encontrado abaixo dela, pois cada tipo de solo determina uma técnica ou material apropriado para ser utilizado, mesmo com quaisquer enzimas (MALKO et. al, 2014).

De acordo com a Cypher Environmental (2016) os estudos referentes à aplicação de enzimas, são necessários serem feitos alguns testes como: análise de tamanho de partículas incluindo resultados do densímetro, atterberg limites de teste e teste de proctor. Isso é necessário para saber se o solo está apto para receber a enzima ou se será necessário realizar alguma intervenções para a aplicação.

As aplicações de enzimas para construção de estradas e rodovias são uma boa alternativa para o Brasil, devido à economia e sustentabilidade, em virtude dessas enzimas serem naturais e não agredirem o meio ambiente. Tendo uma durabilidade e resistência elevadas para serem utilizadas em quaisquer regiões do País (ALENCAR et. al, 2019).

Em aplicações feitas com a enzima earthzyme demonstrou que não se altera os parâmetros de compactação e nenhuma estrutura do solo, como umidade e teor. A enzima não altera a absorção da água do solo que é compactado, desta forma aumenta drasticamente a resistência do solo em relação ao seu estado natural compactado sem a enzima (SANTOS et. al, 2018).

Em uma estrada que se aplicou a enzima earthzyme de acordo com as especificações da camada de solo a qual foi tratado na profundidade e largura definidas, rasgou-se o solo até a profundidade de até 20 cm, nível que foi desejado para atingir a quantidade do estabilizante compactou a camada de solo atingindo a densidade de projeto, a espessura máxima da camada a ser

compactada. Desta forma, o ultimo procedimento é o revestimento asfáltico como camada de rolagem, no qual se tem uma enorme diferença na utilização de cascalhos e com a utilização da enzima (Figura 2). (CYPHER ENVIRONMENTAL, 2016)



Figura 2 - Compactação com asfalto e compactação utilizando a enzima Earthzyme.

Para Rafique et al. (2016), foi observado um aumento nos valores de Índice Suporte Califórnia (ISC), que demonstra uma crescente de 55% da capacidade de suporte com uma proporção de dosagem aditivo/água de 1/150 e uma redução no orçamento de 17% na construção de estradas, e até 60% em manutenção de rodovias com a utilização de enzimas de estabilização de solo.

Perante Vargas (1977), o processo de estabilização de solos deve conferir mais resistência ao solo através da compactação, diminuindo a plasticidade e correção da granulometria, para isso as enzimas devem demonstrar grande potencial para serem utilizadas de forma suprirem todas as demandas na qual forem solicitadas e empregadas quanto na construção de estradas e em quaisquer outros tipos de estabilização.

Na Figura 3 é demonstrado as curvas de compactação, entre o solo natural e o solo com aditivo com concentração na faixa de 1/150. Essas curvas foram desenvolvidas com o intuito de se verificar se o aditivo, na sua concentração elevada, poderia de alguma forma influência nos parâmetros ótimo da compactação do solo (SANTOS; et. al., 2018).

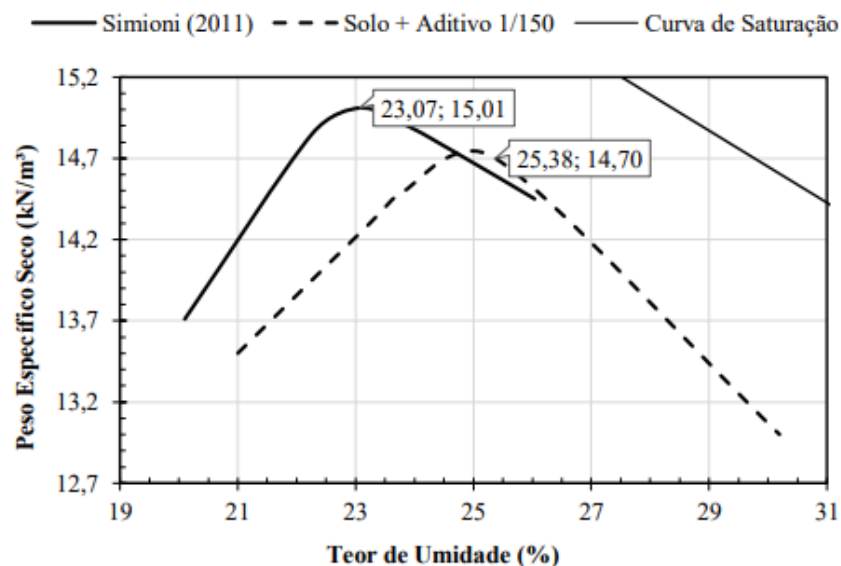


Figura 3 - Curva de compactação do solo na condição natural e solo/aditivo de 1/150.

Na Figura 4, podemos observar que os eixo vertical azuis, representam os ensaio de Resistência à compressão não-confinada (RCNC), no qual estão relacionados com o período de cura entre 7 e 28 dias e os eixo vertical vermelhos, descrevem as relações percentuais entre os valores de RCNC com aditivo e os valores de RCNC do solo puro, nos dois casos, estão em função das seguintes dosagem 1/600, 1/300 e para 1/150 a qual foi elucidado pela pesquisa dos dados anteriores (SANTOS; et. al., 2018).

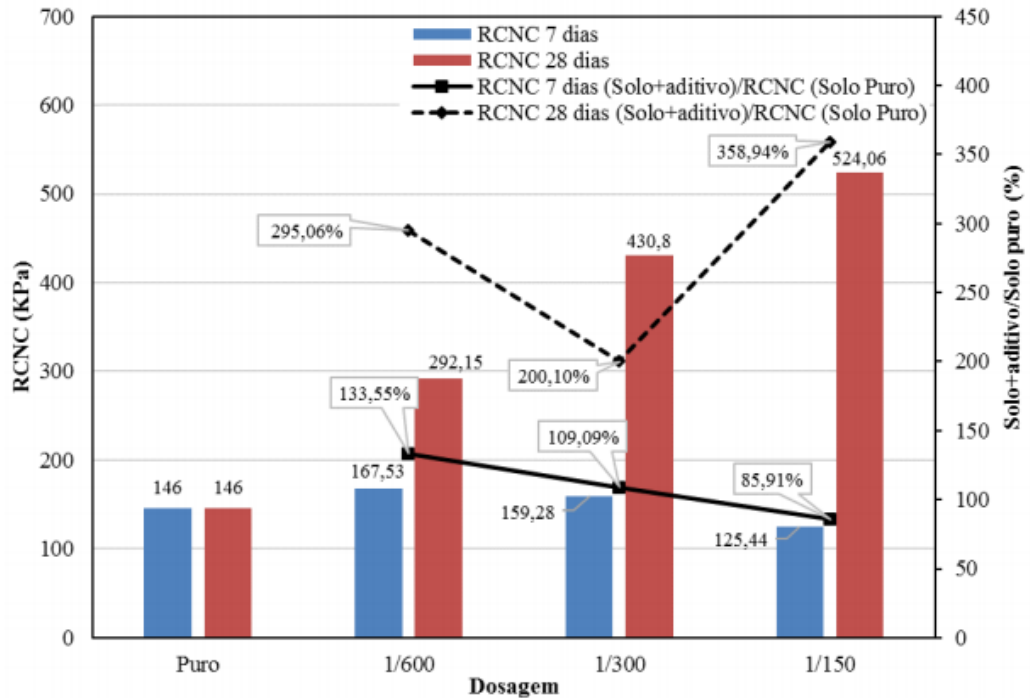


Figura 4 - RCNC de acordo os períodos de cura e relação percentual solo/aditivo/solo puro.

5. Considerações Finais

Com isso, essa pesquisa foi capaz de demonstra grandes benefícios para o solo com a utilização da enzima earthzyme, sendo um produto natural e biodegradável, ele aumenta a capacidade da superfície da rodovia para suportar quantidades de tráfegos pesado, reduz enormemente os problemas comuns da superfície da rodovia como buracões e fendas, reduz custos de compra e transporte de materiais de construção para recondicionamento da rodovia utilizando materiais locais, trazendo melhorias para a qualidade dos solos locais mais pobres e estende a vida útil das superfícies das rodovias de asfalto e concreto, estabilizando a sub-base que reduz os custos de construção que ocorre a partir da agregação de materiais e do transporte rodoviário.

Conclui-se que a enzima earthzymba é um produto natural que não gera reação química e que não ocorre catalise, apenas um rearranjo elétrico, desta forma não agredindo o meio ambiente e pode ser utilizado em qualquer tipo de solo em qualquer região do Brasil. Por ser um produto de estabilização de solo é aplicado de diversas formas no solo para diversos tipos de projetos e construção, as mais utilizadas são para a construção de estradas, que serve para substituir a base e a sub-base das pavimentações convencional.

Referências

- ALENCAR, I. S. et. al. (2019). *Uso de enzimas para estabilização de solo*. Revista Interscientia. v. 7. n. 1.
- ARAÚJO, A. F.; BARROSO, S. H. A. (2007). *O uso da técnica de solo-cal para melhoramento das propriedades tecnológicas de um solo da região do baixo Jaguaribe no estado do Ceará*. Anais do XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Rio de Janeiro, p. 4
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INFRA-ESTRUTURA E INDÚSTRIAS DE BASE. (1998). *Infra – Programa de Demanda por Infraestrutura: Relatório 12*. São Paulo.
- BALBO, J. T. (2007). *Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração*. São Paulo, SP: Oficina de Textos.
- BAPTISTA, C. N. (1976). *Pavimentação: Compactação dos Solos no Campo, Camadas de base, Estabilização de Solos*. Rio de Janeiro: Fundação Nacional de Material Escolar, p. 178.
- BERNUCCI, L. B. et.al. (2006). *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda.
- BONAFÉ, L.; SPECHT, L. P. (2005). *Avaliação da técnica de estabilização mecânica, química e do microreforço na resistência ao cisalhamento de um solo residual*. Anais da 36ª Reunião Anual de Pavimentação, RAPv, Curitiba, p. 11.
- CYPHER ENVIRONMENTAL. Disponível em: <http://www.cypherenvironmental.com/en/soil-stabilization>. Acesso em: 30 Dezembro de 2021
- DAS, B. M. (2011). *Fundamentos de engenharia geotécnica*. 6. Ed. São Paulo: Cengage Learning.
- DNER. (1999). *Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários – Escopos básicos / instruções de serviço*. Diretoria de desenvolvimento tecnológico. 1999.
- DNER. *Manual de conservação rodoviária – Instruções técnicas de execução de serviços*. Diretoria de desenvolvimento tecnológico. 1974.
- DNIT. (2006). *Manual de Pavimentação. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*. IPR, 3. Ed. Rio de Janeiro.
- MALKO, J. A. C. et. al. (2014). *Aplicabilidade de enzimas para melhoramento de solo em pavimentação*. 44ª RAPv – Reunião anual de pavimentação e 18º Enacor - Encontro nacional de conservação rodoviária.
- MINAYO, M.C.L. (2001). *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. 19ª edição. Editora Vozes, Petrópolis-RJ.
- MUKESH, H.; PATEL, A. (2012). *A Review on Effects of Stabilizing Agents for Stabilization of Weak Soil*, *Journal of Civil and Environmental Research*. Vol. 2, n. 6.
- PASTORE, J. (1998). *O desemprego tem cura?* São Paulo: Makron Books.
- PINTO, S.; PREUSSLER, E. (2002). *Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis*. 2. Ed. Rio de Janeiro: Copiarte.
- RAFIQUE, U. et al. (2016). Application of bioenzymatic soil stabilization in comparison to macadam in the construction of transport infrastructure. *Journal of Environmental Biology*, v. 37, p. 1209-1215.
- SAMPAIO, I. S. (2019). *Estabilização enzimática de solo para pavimento de estradas florestais*. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais.
- SANTOS, L. R. et. al. (2018). *Estabilização de Solos com um Aditivo a Base de Enzimas para fins Rodoviários*. Engineering and Science. v. 3, Ed. 7.
- SENÇO, W. (2001). *Manual de Técnicas de Pavimentação*. vol. 1. 2. ed. São Paulo: Pini.
- TEIXEIRA, I. (2014). *Estabilização de solo laterítico argiloso para utilização como camada de pavimento*. Dissertação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.
- THOMAS, A; TRIPATHI, R. K.; YADU, L. K. A. (2018). Laboratory Investigation of Soil Stabilization Using Enzyme and Alkali-Activated Ground Granulated BlastFurnace Slag. *Arabian Journal for Science and Engineering*, v. 43, n. 10.
- VARGAS, M. (1977). *Introdução à Mecânica dos Solos*. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil, Ed. Da Universidade de São Paulo.