

ESTRADAS: ANÁLISE DO SUBLEITO E SUAS PATOLOGIAS APLICADAS A RODOVIAS

ROADS: ANALYSIS OF THE SUBGRADE AND ITS PATHOLOGIES APPLIED TO HIGHWAYS

CARRETERAS: ANÁLISIS DE SUBRASANTE Y SUS PATOLOGÍAS APLICADAS A LAS CARRETERAS

Ana Flávia Júlia Gonçalves Eugênio¹, Sandra Fabiana Rodgher², Gerson de Marco³

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i1.6090>

PUBLICADO: 12/2024

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo comparar as propriedades geotécnicas de solos de comportamento laterítico e solos de comportamento não laterítico aplicados ao subleito de estradas no Brasil, bem como uma breve análise às patologias em rodovias. Em um estudo qualitativo, comparativo e seletivo de pesquisas bibliográficas, de maneira sucinta, um conceito de solos, estudos geotécnicos, tensões e pavimentos serão analisados. Como resultado dessa pesquisa, observou-se que as propriedades físicas e mecânicas de um tipo de solo utilizado na base da estrutura de um pavimento bem como sua capacidade de carga são influenciados pelo clima e por sua composição mineralógica. Ademais, os procedimentos e a classificação de acordo com os métodos de ensaio, assim como a utilização de um solo no subleito, requerem uma visão crítica aliada com o dimensionamento da implantação da rodovia. Portanto, desde o material utilizado, assim como sua classificação, preparação, aplicação e o dimensionamento para a implantação de obras na Engenharia Civil devem ser criteriosamente observados e calculados para que a estrutura seja técnica, funcional, segura e se possível, economicamente viável.

PALAVRAS-CHAVE: Estradas. Comportamento laterítico. Comportamento não laterítico. Ensaios. Pavimentos. Patologias.

ABSTRACT

This article aims to compare the geotechnical properties of soils with lateritic behavior and soils with non-lateritic behavior applied to the subgrade of roads in Brazil, as well as a brief analysis of the pathologies on highways. In a qualitative, comparative and selective study of bibliographic research, a concept of soils, geotechnical studies, stresses and pavements will be succinctly analyzed. As a result of this research, it was observed that the physical and mechanical properties of a type of soil used in the base of the structure of a pavement, as well as its load capacity, are influenced by the climate and its mineralogical composition. Furthermore, the procedures and classification according to the test methods, as well as the use of a soil in the subgrade, require a critical view combined with the dimensioning of the implementation of the highway. Therefore, the material used, as well as its classification, preparation, application and dimensioning for the implementation of works in Civil Engineering must be carefully observed and calculated so that the structure is technically, functional, safe and, if possible, economically viable.

KEYWORDS: Roads. Lateritic behavior. Non-lateritic behavior. Tests. Pavements. Pathologies.

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo comparar las propiedades geotécnicas de los suelos con comportamiento laterítico y los suelos con comportamiento no laterítico aplicados a la subrasante de carreteras en Brasil, así como un breve análisis de las patologías de las carreteras. En un estudio cualitativo, comparativo y selectivo de la investigación bibliográfica, de manera sucinta, se analizará un concepto de suelos, estudios geotécnicos, tensiones y pavimentos. Como resultado de esta investigación, se observó que las propiedades físicas y mecánicas de un tipo de suelo utilizado en la

¹ Graduanda do Curso de Engenharia 2024 da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP. afjgeugenio@uniara.edu.br

² Orientadora. Docente Curso de Engenharia 2024 da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP. E-mail: sfrodgher@uniara.edu.br

³ Coordenador. Docente Curso de Engenharia 2024 da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP. E-mail: gmarco@uniara.edu.br

base de la estructura de un pavimento, así como su capacidad de carga, están influenciadas por el clima y su composición mineralógica. Además, los procedimientos y la clasificación de acuerdo con los métodos de ensayo, así como el uso de un suelo en la subrasante, requieren una visión crítica combinada con el dimensionamiento de la implementación de la carretera. Por lo tanto, desde el material utilizado, así como su clasificación, preparación, aplicación y dimensionamiento para la ejecución de obras en Ingeniería Civil se debe observar y calcular cuidadosamente para que la estructura sea técnica, funcional, segura y si es posible, económicamente viable.

PALABRAS CLAVE: Carreteras. Comportamiento laterítico. Comportamiento no laterítico. Pruebas. Pisos. Patologías.

1. INTRODUÇÃO

No âmbito de estradas e estrutura do pavimento, entende-se por subleito ou solo, o terreno natural que receberá as camadas da estrutura: Reforço do subleito (caso necessário), Sub-base, Base e Revestimento, que transmitirá as cargas do volume de tráfego. O subleito é a superfície de fundação e por essa razão, requer estudos geotécnicos que possibilitem identificar as propriedades físicas e mecânicas dessa camada de solo, permitindo ter um parâmetro para os cálculos e conseqüentemente, o dimensionamento da estrutura para a implantação da rodovia.

Segundo Godoy (1997), estudos mostram que solos de clima tropical e solos de clima temperado apresentam peculiaridades de comportamento hídrico e mecânico diferentes. Deste modo, essas peculiaridades estabelecem de forma macro, duas principais classes de solos: os solos de comportamento laterítico e os solos de comportamento não-lateríticos.

Os solos ou subleitos são a matéria-prima para qualquer edificação e obras da engenharia civil. De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, estima-se que cerca de 90% dos solos desse estado apresentam comportamento laterítico e desse percentual, 62% são da classe dos latossolos. As rodovias como a SP-310-Rodovia Washington Luís, que liga a cidade de Araraquara à sudeste com São Carlos, estão implantadas em subleito com essas classificações de solo, por exemplo.

Para Godoy (1997), as superfícies de comportamento laterítico, em estado natural, são menos suscetíveis à erosão que as demais superfícies, apresentando propriedades geotécnicas e, quando compactadas, adquirem resistências e capacidades de suporte elevadas.

Entretanto, como qualquer obra e edificação na construção civil, as rodovias também estão sujeitas a diversas patologias como trincas, exsudação, desgaste e ruptura de borda, decorrentes de diversos fatores como a espessura insuficiente do pavimento, excesso de ligante ou ligante inadequado, envelhecimento do revestimento, ação erosiva das águas dentre outras variáveis. É importante salientar que, alguns solos devido as suas propriedades geotécnicas são mais ou menos propensos a essas patologias quando comparados com outros tipos de solos.

Deste modo, pesquisas bibliográficas com foco nos estudos dos solos de comportamento laterítico e de comportamento não-laterítico, em estradas, serão realizadas. A metodologia utilizada será embasada em dados da Scielo, do Instituto Agrônomo de Campinas e da Biblioteca Virtual da USP. Em suma, este trabalho tem como objetivo comparar os solos de comportamento laterítico com os de comportamento não-laterítico e suas respectivas propriedades, de modo a constatar se as patologias de rodovias implantadas nesses subleitos são exclusivamente ou predominantemente em razão desse tipo de solo e ainda apresentar uma breve análise dos solos comuns.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Breve conceito de solos

Segundo Godoy (1997), os solos para serem utilizados nas obras devem conferir resistência mecânica e estabilidade aos esforços que serão submetidos. Aos solos que não apresentaram as qualidades prescritas é possível melhorar suas propriedades geotécnicas por meio de estabilização (uso de aditivos químicos como cimento, cal, entre outros), de misturas granulométricas (adição de brita, areia, etc) ou ainda substituir o solo por outro material.

Ainda salienta Godoy (1997), que a distribuição de ocorrências de solos é feita através de estudos geotécnicos adequados; estudos esses que constituem as duas primeiras fases de uma obra: planejamento e projeto. Esses estudos também podem auxiliar no reconhecimento do campo, nas fases de execução e conservação.

2.1.1. Estudos Geotécnicos

Os estudos geotécnicos têm como objetivo:

No que se refere ao subleito, a identificação, determinação de características tecnológicas e classificação dos materiais a serem escavados de rodovias não implantadas, visando fornecer subsídios para a execução da terraplenagem, estudos de drenagem subterrânea e futuro projeto de dimensionamento do pavimento (DNIT, 2010, p. 160).

No que se refere às ocorrências e às caixas de empréstimos, visam à determinação de suas características tecnológicas e à seleção de materiais para utilização na fase de terraplenagem, na complementação dos aterros, por insuficiência do volume de cortes ou para melhoria dos materiais aplicados nas camadas finais (DNIT, 2010, p. 160).

2.1.2. Definições de Solo

A palavra solo foi identificada da seguinte maneira, de acordo com o DNIT:

Materiais constituintes especiais da crosta terrestre, provenientes da decomposição in situ das rochas pelos diversos agentes geológicos, ou pela sedimentação não consolidada dos grãos elementares constituintes das rochas, com adição eventual de partículas fibrosas de material carbonoso e matéria orgânica coloidal (DNIT, 2010, p. 228).

E o solo laterítico como:

Solo laterítico - é um solo que ocorre comumente sob a forma de crostas contínuas, como concreções pisolíticas isoladas ou, ainda, na forma de solos de textura fina, mas pouco ou nada ativos. Suas cores variam do amarelo ao vermelho mais ou menos escuro e mesmo ao negro. Diversas designações locais existem para os solos ou cascalhos lateríticos, tais como: piçarra, recife, tapiocanga e mocoioró (DNIT, 2010, p. 230).

2.1.3. Tensão do Subleito

A Capacidade de Suporte do subleito e dos materiais constituintes dos pavimentos é feita pelo CBR, adotando-se o método de ensaio preconizado pelo DNER, em corpos

de-prova indeformados ou moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade especificada para o serviço.

O subleito e as diferentes camadas do pavimento devem ser compactadas de acordo com os valores fixados nas "Especificações Gerais", recomendando-se que, em nenhum caso, o grau de compactação deve ser inferior a 100%.

Os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio C.B.R., menor ou igual a 2% e um C.B.R. \geq 2%. (Pavimentação, 2012, p. 41).

2.2. Regiões Tropicais

Muitos solos de regiões tropicais trazem consequências quando utilizados de maneira inadequada, como:

- Classificação geotécnica inadequada para estudos de solos de subleito e camadas de pavimento;
- Adoção de procedimentos para projeto e construção de pavimentos geralmente incompatíveis com o desempenho de alguns solos tropicais. (Villibor; Alves, 2019, p. 24).

2.2.1. Solo De Comportamento Laterítico

Segundo o Prof. Carlos Souza Pinto (comunicação pessoal, 1996), a concepção de diferenciação dos solos tropicais em duas principais classes: solos lateríticos e saprolíticos, está sendo de fundamental importância para os estudos dos nossos solos, e que também a sistemática de ensaios da metodologia MCT são interessantes para diferenciá-los e hierarquizá-los. Porém, a classificação MCT apresenta dificuldades de compreensão e de utilização (Godoy, 1997, p. 41).

Para colaboração nos processos e metodologias de classificação dos solos:

Na falta de critérios simplificados para a escolha de solos para pavimentação, Nogami (1972) desenvolveu o Mini-CBR, que é um ensaio mecânico que avalia a resistência dos solos. Este ensaio foi fundamental para o melhor aproveitamento dos solos arenosos finos lateríticos, sendo um dos primeiros passos para a elaboração posterior da metodologia MCT (Godoy, 1997, p. 40).

Ainda salienta Godoy (1997), que para alguns autores, pela sua abundância no território brasileiro e boas qualidades geotécnicas, os solos lateríticos são uma das matérias-primas mais importantes na construção de obras viárias, barragens, etc.

É importante salientar que, ainda sobre os estudos dos solos tropicais:

No estudo dos solos tropicais, a mineralogia tem um significado especial por apresentar, nos horizontes superficiais dos solos, concentração de óxidos de ferro e alumínio, propiciando assim a agregação das partículas pela ação cimentante desses elementos e é o que definirá a estrutura dos solos. Desta forma, a estrutura e a mineralogia dos solos tem grande importância em obras de terra (estradas, taludes, aterros, barragens etc.) porque nessas obras os solos estão sujeitos a baixas tensões de confinamento e a ciclos sucessivos de molhagem e secagem (Godoy, 1997, p. 11).

2.3. Pavimentos

O pavimento é uma estrutura constituída de camadas com determinadas características, entre elas:

- Resistir e distribuir as cargas transientes oriundas do tráfego à sua fundação (subleito), em níveis admissíveis para que não comprometam a estrutura do pavimento ao longo de sua vida útil;

- Propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com segurança e conforto. (Villibor; Alves, 2019, p. 158).

E aliado ao pavimento temos o subleito, onde é possível fazer melhorias ou regularização dessa camada.

Tem a função de melhorar a superfície final da fundação, quanto à sua uniformidade e à melhoria de seu suporte. Neste livro, será adotada a conceituação do DER-SP de melhoria do subleito. Esse serviço é constituído de escarificação, regularização e compactação dos 20 cm finais da superfície da terraplenagem, já no greide definitivo do subleito.

Já o DNIT considera que, no término do serviço de terraplenagem, o greide ainda não está em sua forma definitiva. Dessa forma, é realizado o serviço designado como regularização do subleito, que consiste na operação de dar forma à superfície do subleito, segundo um perfil e uma seção transversal determinados e com material apropriado, compreendendo cortes ou aterros com até 20 cm e compactação (Villibor; Alves, 2019, p. 160).

3. DESENVOLVIMENTO

No campo rodoviário, a permeabilidade, a capilaridade, a compressibilidade, a elasticidade, a contratibilidade e expansibilidade e a resistência ao cisalhamento e empolamento são as propriedades físicas e mecânicas de maior interesse para análise de um solo.

a) Capilaridade

Entende-se por capilaridade a propriedade dos solos em poder absorver a água por ação da tensão superficial, opondo-se a força da gravidade, ou seja, a ascensão capilar. Por essa ação capilar, a altura que esse fluido pode atingir num solo é função inversa do tamanho individual de vazios e, portanto, do tamanho das partículas do solo.

b) Permeabilidade

É a passagem de água no solo sob a ação da gravidade ou de outra força. Essa permeabilidade dos solos é medida pelo valor do coeficiente de permeabilidade (k), definido como a velocidade de escoamento da água, através da massa do solo. É válido ressaltar que a permeabilidade de um solo é em função, principalmente, do tamanho médio de seus grãos, do seu índice de vazios e da estrutura.

c) Compressibilidade

Neste aspecto, compressibilidade é a propriedade dos solos se deformarem, com diminuição de volume, sob a ação de uma força de compressão. Esta compressibilidade apresenta-se na compactação dos solos não saturados, ou seja, solos que não estão totalmente cheios de água e, no adensamento de solos saturados (cheios de água). Portanto, entendemos que, na compactação, a redução de vazios dá-se pela expulsão de ar, entretanto no adensamento, pela expulsão da água.

d) Elasticidade

Nesta propriedade, cessado o esforço deformante, o solo volta à sua forma primitiva, porém, tal recuperação é parcial; não sendo os solos perfeitamente elásticos.

Para o Manual de Implantação Básica de Rodovia (2010) em cargas de curta duração, como as do tráfego, a recuperação das deformações do pavimento e do subleito são quase completas; deste que este tenha sido compactado e dimensionado de modo a evitar as deformações plásticas. Ainda esclarece que as deformações elásticas excessivas nos pavimentos é a consequência do fissuramento dos revestimentos betuminosos (ruptura por fadiga).

Assume especial importância, atualmente, a consideração da elasticidade dos subleitos no desenvolvimento dos métodos de dimensionamento de pavimentos baseados na aplicação da teoria da elasticidade. (Manual de Implantação Básica de Rodovia, 2010, p. 239).

e) Contratilidade e Expansibilidade

Por diminuição de umidade, contratibilidade é a propriedade dos solos terem seu volume reduzido. Já, por aumento de umidade, expansibilidade é a propriedade dos solos terem seu volume ampliado.

f) Resistência ao Cisalhamento

A ruptura das massas de solo dá-se por cisalhamento, ou corte.

Entre os fatores extrínsecos que influem no valor de τ (resistência ao cisalhamento ou corte), estão a velocidade de aplicação dos esforços e a maior ou menor facilidade de escoamento do fluido contido nos poros. Tal influência condiciona os tipos clássicos de ensaios de cisalhamento: rápido, rápido-adensado e lento, executados em laboratórios de solos, nos aparelhos de compressão simples e/ou triaxial, e de cisalhamento direto (Manual de Implantação Básica de Rodovia, 2010, p. 241).

g) Empolamento

A propriedade do empolamento dá-se ao fato de que na escavação de um terreno natural, proveniente do seu próprio processo de formação, o solo que se encontrava num certo estado de compactação, após a escavação, passa a experimentar uma expansão volumétrica que chega a ser considerável em certos casos.

A princípio, é importante salientar que neste trabalho, todos os aspectos e propriedades são em função do solo compactado, em razão de ser a maneira como será utilizado na estrutura do pavimento.

No final da década de 1940, no Brasil, o uso da Mecânica dos Solos na solução de problemas ligados à construção rodoviária foi introduzido.

Foram encontradas várias discrepâncias entre as previsões efetuadas com a aplicação dos princípios desenvolvidos por essa especialidade e o real comportamento dos solos nas obras. Essas divergências foram atribuídas, em grande parte, às peculiaridades dos solos tropicais, do ponto de vista de suas propriedades mecânicas e hídricas, bem como daquelas que influem nos estudos geotécnicos de campo (Villibor; Alves, 2019).

Ainda, Nogami e Villibor (1981) apontam que não consideravam as diferenças de propriedades geotécnicas entre os vários tipos de solos que ocorrem nas regiões tropicais, em especial os solos

saprolíticos e os solos de comportamento laterítico, além das condições climáticas a que estão submetidos.

Nesses subleitos de clima tropical, os solos de comportamento laterítico são considerados maduros e em suas aplicações temos:

Camadas da estrutura de pavimentos de baixo custo: bases ou reforços do subleito.
Camadas de reforço do subleito de pavimentos para tráfego médio e pesado.
Camadas de proteção de taludes de corte ou de aterro, para evitar erosão. (Godoy, 1997, p. 10)

Já, por definição, os solos saprolíticos resultam da decomposição ou desagregação *in situ* da rocha matriz. Esses solos foram designados como solos residuais jovens e apresentam em geral, uma mineralogia complexa, ao contrário dos solos de comportamento laterítico. Dentre o solo de comportamento laterítico e os saprolíticos, o segundo é o menos utilizado na construção de estradas; um assunto que abordaremos mais adiante.

Outra propriedade que influencia na formação e conseqüentemente na análise de um solo é o clima. No Brasil, pela maior parte do território estar localizada na zona intertropical, é classificado como um país de clima tropical. Em climas tropicais e subtropicais, as condições meteorológicas apresentam desafios únicos, que vão desde temperaturas e umidade elevadas até precipitações intensas e mudanças sazonais de temperatura. Desta forma, solos tropicais são solos de características peculiares, constituídos de argilominerais, possuem uma baixa permeabilidade e são caracterizados pela metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical). (Araujo; Dantas, 2014).

Durante muito tempo, os ensaios foram desenvolvidos com base em análise de solos de outros países, e por isso, não existia uma classificação própria para esse tipo de solo, aplicando nomenclaturas que caracterizavam materiais diferentes em solos tropicais, gerando resultados que não eram precisos, adequados e satisfatórios.

Devido a não contemplação desses solos pelos sistemas de classificação, foi criada a metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) criada para caracterizar solos tropicais. Os engenheiros Douglas Fadul Villibor e Job Shuji Nogami, desenvolveram a metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) com a finalidade de utilização em obras de pavimentação com baixo custo. (Araujo; Dantas, 2014)

Os ensaios da classificação MCT são de compactação Mini-MCV que é aquele em que a compactação é feita em um equipamento miniatura (com corpos de prova moldados em cilindros de 50mm de diâmetro interno), e 50 mm de altura.

Nogami e Villibor classificaram o solo em dois grandes grupos: os solos de comportamento laterítico (L) e os solos de comportamento não laterítico (N).

Figura 1: Subclassificação dos solos lateríticos segundo a metodologia MCT

SOLOS LATERÍTICOS (L)	SOLOS NÃO LATERÍTICOS (N)
<p>Areias Lateríticas (LA): com a pouca presença de finos de comportamento laterítico;</p>	<p>Areias não Lateríticas (NA): pouquíssima ou nenhuma presença dos finos argilosos. Constituintes de areias e siltes;</p>
<p>Solos Arenosos Lateríticos (LA’): são de fato arenosos em tátil e visualmente falando. Possuem pigmentação amarela e vermelha, quando expostos às intempéries eles apresentam com trincas visíveis;</p>	<p>Solos Arenosos não Lateríticos (NA’): em sua maior composição, há presença de areia de quartzo, os finos presentes neste, não se comportam como lateríticos;</p>
<p>Solos Argilosos Lateríticos (LG’): constituídos por argilas e argilas arenosas. Quando há predominância de areia, eles apresentam as mesmas características do LA’;</p>	<p>Solos Siltosos não Lateríticos (NS’): derivados das rochas eruptivas e metamórficas, a partir do intemperismo característico de climas tropicais;</p> <p>Argilosos não Lateríticos (NG’): compreendidos por solos saprolíticos argilosos de camadas superficiais.</p>

Fonte: Adaptado pelos autores, Nogami e Villibor, 1995.

Para essa metodologia, como meio de classificação, criou-se um ábaco no qual, tem-se a observação desses solos através de valores de coeficientes c' , d' e e' .

Coefficiente c'

A cada teor de umidade existente, é traçada uma curva com o número de golpes aplicados em função do afundamento de cada corpo de prova. Após traçadas as curvas que indicam o quanto o material se deformou, resultantes da extração dos dados e dos resultados dos ensaios segue com a determinação do c' , obtido pela razão existente entre o quanto variou o afundamento pela variação do Mini-MCV da parte mais assemelhada a uma reta da curva de deformabilidade.

O coeficiente c' dos solos lateríticos é o indicativo do aspecto granulométrico do material, ou seja, se arenoso ou argiloso. Assim c' com valor acima de 1,5 está ligado aos solos mais argilosos e as argilas em si, quando apresentam valores abaixo de 1,0 correspondem as areias e os siltes não plásticos ou pouco coesivos. Entre 1 e 1,5 estão presentes os solos com diferentes granulometrias, compreendido por areias siltosas, areias argilosas, areia arenosas, argilas siltosas, etc (Nogami; Villibor, 1995; Pereira, 2020).

Coefficiente d'

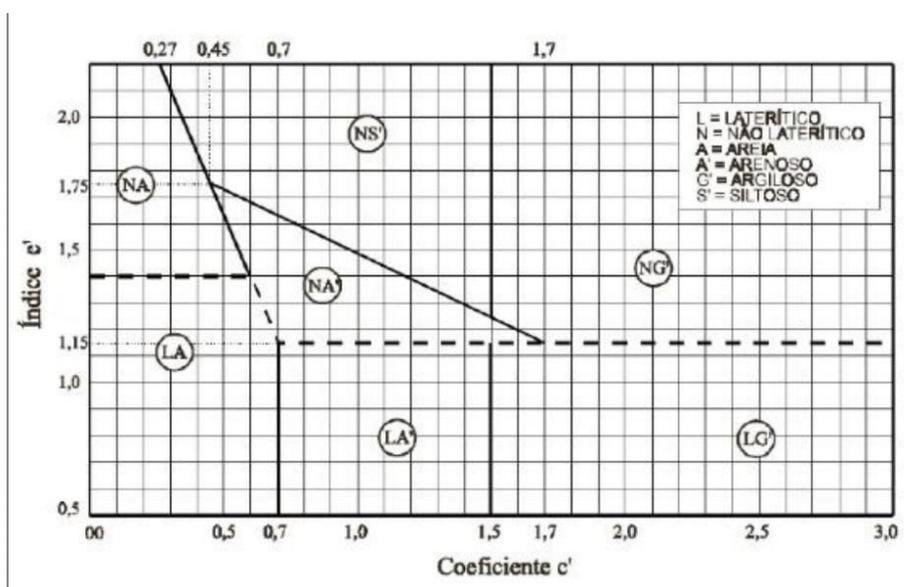
Após as alturas do afundamento dos corpos de prova compactados, obtém-se as massas específicas aparentes secas (MEAS) e então, para os números de golpes $n = 10$ se traçam as curvas de “MEAS versus H_c ”.

Coeficiente e'

A classificação dos solos lateríticos e saprolíticos de acordo com a Metodologia MCT é obtida após estabelecidos todos os parâmetros classificatórios obtidos nos ensaios até então descritos, através do ábaco classificatório apresentado abaixo na Figura 3. O coeficiente e' é calculado a partir do coeficiente d' .

Segundo Nogami e Villibor (1995), esse índice, indica se o solo é laterítico ou não. Os autores relatam que se o $d' > 20$ e $P_i < 100$, são indícios de que o solo seja laterítico. O que origina a linha horizontal principal correspondente a $e' = 1,15$ (linha tracejada no gráfico abaixo) que separa os solos "L" dos solos "N". Já com os solos com a porcentagem de finos muito baixa, a mudança ocorre para valores mais altos de P_i , por esse motivo foi estabelecida a elevação da linha horizontal secundária em posição pouco acima, adequada a $e' = 1,4$. (Pereira, 2020).

Gráfico 1: Gráfico MCT



Fonte: Villibor, 2009

Sobre o P_i (Ensaio de Perda por Imersão), Nogami e Villibor (1995) declaram que o valor de P_i juntamente com outros resultados da sistemática MCT, permite uma análise ampla dos comportamentos dos solos. A estabilidade do solo à ação da água é avaliada usando-se corpos de prova já compactados, que são extraídos parcialmente (10 mm) dos cilindros e depois imersos em água, por pelo menos 20 horas. O material desprendido é recolhido e submetido à secagem, a fim de se obter o peso seco desprendido do corpo de prova.

Ainda sobre os solos tropicais, sua utilização se dá pelo seu bom desempenho e o excelente custo-benefício que ele tem na construção de rodovias; além de sua abundância em algumas regiões do Brasil.

O pavimento rodoviário é um conjunto de camadas de espessura finita, apoiada em um pequeno espaço aceito teoricamente como infinito a infraestrutura ou terreno de fundação a qual é designado subleito. As principais solicitações impostas: resistir aos esforços aplicados pelo tráfego e pelas mudanças climáticas ao longo da vida útil do pavimento. Ter uma boa superfície que garanta a circulação de veículos com segurança, conforto e uma forma sustentável e econômica, minimizando os impactos ambientais. O pavimento flexível depende muito da sua estrutura geotécnica e mecânica, ou seja, depende dos números de camadas que formam esta estrutura, e das espessuras destas, e também do tipo de material que a compõe, a da característica da fundação que a sustente (DNIT, 2006).

4. RESULTADOS

De maneira geral, as patologias do solo referem-se a problemas ou falhas que afetam a estrutura ou a estabilidade de um solo; podendo ser consideradas nas seguintes categorias:

- **Compressibilidade Excessiva:** onde o solo sofre deformações volumétricas significativas quando submetidas a cargas, o que leva a recalques. Essas patologias são mais presentes em solos argilosos moles ou altamente orgânicos podendo ocasionar problemas na funcionalidade estrutural e danos a fundações e pavimentos.
- **Colapsibilidade:** nessa categoria, o solo inicialmente estável colapsa, reduzindo drasticamente seu volume ao ser saturado com água; sendo mais usual em solos arenosos ou siltes mal cimentados. Dessa maneira, pode resultar em desmoronamento parcial ou total das fundações e deformações significativas em estradas e aterros.
- **Liquefação:** um fenômeno em que os solos saturados perdem repentinamente sua resistência e rigidez, comportando-se como um líquido; causado em solos arenosos saturados com baixa compactação. Como consequência, pode causar colapso em rodovias, edifícios e pontes e também em barragens de terra.

Em síntese, segundo Goulart e Nogami (2000), a diferença entre solos de comportamento laterítico, comportamento não laterítico e solos comuns está relacionada às suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas, que por sua vez, são influenciadas pelo processo de formação e pela composição.

Solos de Comportamento Laterítico: são formados em climas tropicais e subtropicais, caracterizados por intemperismo intenso. A composição é a alta concentração de óxidos de ferro e alumínio e o baixo teor de sílica.

Propriedades:

- Granulometria fina com presença de partículas coesas.
- Alta coesão e baixa plasticidade.
- Tendência a endurecimento ao secar (lateritização).
- Boa drenagem devido à estrutura porosa.
- Resistência mecânica elevada quando compactados.

Sua utilização é em construção de estradas e obras de engenharia civil, especialmente como materiais de base e sub-base.

Solos de Comportamento Não Laterítico: são formados em climas mais temperados ou em condições com menor intemperismo químico.

A composição desses solos de comportamento não laterítico é a menor concentração de óxidos de ferro e alumínio e a maior presença de minerais primários e argilas expansivas.

Propriedades:

- Granulometria variada.
- Maior plasticidade e capacidade de reter água.
- Podem apresentar comportamento expansivo ou retrátil em função da variação de umidade.
- Geralmente menos coesos do que os solos de comportamento laterítico.

Sua utilização é limitada em obras de engenharia civil devido à instabilidade volumétrica.

Solos Comuns: esses solos referem-se a solos que não apresentam características de comportamento laterítico ou de comportamento não laterítico dominantes. Sua formação é variável, dependendo da origem geológica e do grau de intemperismo.

As propriedades podem variar entre solos arenosos, siltosos e argilosos, plasticidade e permeabilidade intermediárias. E como característica dependem mais da granulometria e do teor de matéria orgânica.

São solos amplamente encontrados e utilizados em aplicações gerais, mas suas propriedades devem ser avaliadas caso a caso para uso em engenharia.

5. CONSIDERAÇÕES

Posto isso, os solos de comportamento laterítico desempenham um papel significativo na construção de estradas em regiões tropicais devido à sua abundância e conseqüentemente baixo custo desse solo e suas boas propriedades mecânicas. Contudo, seu uso exige atenção ao comportamento no estado compactado, especialmente em relação à capacidade de suporte e resistência às variações de umidade.

Para garantir um desempenho satisfatório, é fundamental realizar estudos detalhados de caracterização técnica e ensaios laboratoriais, além de um controle rigoroso na execução das camadas de pavimento. Medidas complementares, como estabilização química ou mecânica, podem ser adotadas para melhorar o desempenho em condições específicas. Assim, com um planejamento adequado, os solos de comportamento laterítico podem ser utilizados de forma eficiente e sustentável na pavimentação rodoviária.

Já os solos de comportamento não laterítico desempenham um papel significativo na construção de estradas, especialmente em regiões onde os solos de comportamento lateríticos não são predominantes. Esses solos apresentam características distintas, como menor teor de óxidos de ferro e alumínio e maior presença de minerais primários, o que influencia diretamente suas propriedades geotécnicas e a sua utilização como material de pavimentação.

A conclusão para o uso desses solos em estradas deve considerar sua variabilidade quanto à plasticidade, permeabilidade e resistência, que podem exigir tratamentos específicos, como estabilização com cimento, cal ou outros aditivos. Além disso, é essencial realizar estudos detalhados de caracterização geotécnica e avaliar o comportamento do solo em condições de saturação, dado que esses solos podem ser mais suscetíveis a problemas como deformações permanentes e perda de suporte estrutural.

Portanto, solos de comportamento não laterítico podem ser adequados para estradas, desde que sejam corretamente caracterizados, tratados e utilizados em camadas específicas do pavimento, garantindo segurança, durabilidade e economia no projeto rodoviário, especialmente em vias de baixo volume de tráfego.

Não muito diferente, os solos comuns também desempenham um papel fundamental na construção de estradas, especialmente em regiões onde materiais de alta qualidade não estão prontamente disponíveis. Esses solos, muitas vezes oriundos das proximidades da obra, são utilizados em diversas camadas do pavimento, como subleito e sub-base, dependendo de suas características geotécnicas.

Embora apresentem variações significativas em suas propriedades, como resistência, plasticidade e capacidade de suporte, o uso adequado de solos comuns exige uma análise criteriosa por meio de ensaios laboratoriais. Isso permite determinar a necessidade de tratamentos específicos, como compactação, estabilização com aditivos ou misturas com outros materiais para melhorar seu desempenho.

Em resumo, solos comuns são uma solução prática e econômica para a construção de estradas, desde que sejam corretamente caracterizados e empregados dentro dos limites técnicos estabelecidos. Com um planejamento adequado e medidas de controle de qualidade, esses materiais podem contribuir para a durabilidade e funcionalidade do pavimento, atendendo às exigências técnicas e financeiras do projeto rodoviário.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C.; DANTAS, S. Caracterização de Solos Lateríticos para Utilização em Pavimentos de Baixo Custo na Cidade de Canindé/CE. *In: Conferência: XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG*, 2014.

DE SOUZA, Milena Cristina Rocha. **LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**. [S. l.]: Editora Realize, 1996. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2020/TRABALHO_EV138_MD1_SA23_ID1382_22112020205944.pdf

GODOY, Helder de. **Identificação e classificação geotécnica de latossolos do Estado de São Paulo pelo método das pastilhas MCT**. 1997. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44134/tde-29102015-132258/pt-br.php>

GOULART, F. F.; NOGAMI, J. S. **Solos Tropicais e Lateríticos na Engenharia de Pavimentos**. [S. l.: s. n.], 2000.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Pavimentação**. Juíz de Fora: [s. n.], 2012. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38432943/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo-libre.pdf>

MOLINERO JUNIOR, João Andréa. **Estudo geotécnico dos solos de erosões resultantes de intervenções em rodovias**. 2010. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14146>

OLIVEIRA, Luís Gustavo Costa. **Modelagem e análise mecânica de rodovias com diferentes subleitos utilizando o AEMC**. 2023. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e

Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em:
<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/53714>

PASSOS, Paulo Sérgio Oliveira et al. **Manual de Implantação Básica de Rodovia**. 3 ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2010. 619p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/742_manual_de_implantacao_basica.pdf

PEREIRA, Lázaro Fernandes. **Estudo da utilização de solos lateríticos e a metodologia MCT: Análise em trecho a ser duplicado na BR-116**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/utilizacao-de-solos#comments>

ROSSI, MÁRCIO. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo Revisado e Ampliado**. [S. l.: s. n.], 2017.

VILLIBOR, Douglas F.; ALVES, D. M. L. **Pavimentação de baixo custo para regiões tropicais: projeto e construção: novas considerações**. [S. l.]: Editora Tribo da Ilha, 2019. v. 1. Disponível em: <https://ebook.portaldetecnologia.com.br/>