

ESTUDO COMPARATIVO DE PAVIMENTO RÍGIDO X PAVIMENTO FLEXÍVEL ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SOLO NA PB 008

Luiz Florival Cipriano¹
Raynner Cristhofer Santos Lima²
Kelen Cristina Crivelaro Silvestre³

RESUMO

Atualmente, as baixas condições da malha rodoviária do Brasil têm se tornado um ambiente de muitas pesquisas em relação à qualidade dos pavimentos e principalmente a discussão sobre o melhor tipo de pavimento para ser utilizado em uma região, o pavimento flexível ou o pavimento rígido. Os dois pavimentos possuem características distintas, sendo hoje, o pavimento flexível por seu baixo custo de implementação comparado ao pavimento rígido, o mais utilizado no Brasil. Porém essa escolha tornou a malha rodoviária mais vulnerável as condições ambientais de temperatura junto a um considerável aumento no tráfego de veículos nas rodovias brasileiras. O tipo de solo daquela região pode influenciar diretamente na escolha do tipo de solo, ou seja, um estudo bem elaborado sobre o solo pode ajudar a diagnosticar e tratar de forma eficaz e ajudar na eficiência dos pavimentos utilizados na malha rodoviária do Brasil. Neste trabalho foi desenvolvido um estudo específico sobre a tipologia do solo da Rodovia PB 008 e sua influência na análise e desenvolvimento de uma comparação sobre qual o melhor tipo de pavimento para ser implementado naquela região, levando em consideração a viabilidade socioeconômico, o impacto do tipo de solo para a construção da rodovia e o fluxo de veículos na rodovia. Para chegar às considerações finais foram feitos vários ensaios regidos por norma para distinguir o tipo de solo, sua granulometria, sua eficiência quanto à umidade e sua plasticidade. Nos resultados foi diagnosticado que o tipo de solo daquela região é composto majoritariamente por areia do tipo fina, tendo mudança na coloração e uma pequena quantidade de argila na sua composição em um dos pontos onde foram coletadas as amostras.

Palavras-chave: pavimento; solo, malha rodoviária; PB 008; rodovias.

ABSTRACT

Currently, the low conditions of the road network in Brazil have become an environment of much research in relation to the quality of the pavements and main discussion about the best type of pavement to be used in a region, the flexible pavement or the rigid pavement. The two pavements have different characteristics, and today, the pavements is flexible due to its low cost of implementation compared to the rigid pavements, the most commonly used in Brazil. However, this choice made the road network more vulnerable to environmental temperature conditions along with a considerable increase in vehicle traffic on Brazilian highways. The type of soil in that region can directly influence the choice of soil type, that is, a well elaborated study on the soil can help to diagnose, treat effectively, and help in the efficiency of the pavements used in Brazil's road network. In this project, a specific study was developed on the soil typology of Highway PB 008 which also took into account the influence of an analysis in conjunction with a comparison on the development for the best type of pavement to be implemented in that region. Taking into account the socio economic viability, the impact of the type of soil for the construction of the highway, and the flow of vehicles on the

¹ Vinculação. E-mail: luizcipriano2020@hotmail.com

² Vinculação. E-mail: rynnnercristhofer@gmail.com

³ Vinculação. kccsilvestre@gmail.com

highway. In order to arrive at the final considerations, several tests were carried out governed by the norm to distinguish the type of soil, its granulometry, its efficiency in terms of humidity, and its plasticity. In the final results, it was diagnosed that the soil type in that region is composed mainly of fine sand, with a change in color, and a small amount of clay in its composition at one of the points where the samples were collected.

Keywords: Paviments; Soil; Road network; PB 008; Highway

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, o transporte rodoviário é o principal sistema logístico brasileiro, segundo o Sistema Nacional de Viação há 1.720.700 quilômetros de rodovias federais, estaduais transitórias, estaduais, municipais pavimentadas, não pavimentadas e planejadas no país. Porém, desse total, apenas 213.453 quilômetros (12,4%) são pavimentados, a Tabela 1 oferece mais informações sobre estes dados. (Confederação Nacional de Transportes CNT, 2019).

Tabela 1 - Área territorial e extensão das rodovias do Brasil e por Região Geográfica.

Região	Geometria da via	Extensão da rodovia - Km	
		Total	Pavimentadas
Brasil	8.510.820,60	1.720.700	213.453
Norte	3.851.281,40	148.028	22.389
Nordeste	1.551.991,40	445.403	59.961
Sudeste	924.565,50	533.795	62.520
Sul	576.743,30	388.079	38.323
Centro-Oeste	1.606.239,00	205.395	30.260

Fonte: Pesquisa da CNT de Rodovias (2019).

Segundo a Empresa de Planejamento e Logística S.A, o transporte rodoviário ocupa uma posição de destaque no país, sendo responsável por cerca de 65% da movimentação de cargas no Brasil. Para um bom funcionamento logístico e fluidez econômica é necessário atentar-se a qualidade das rodovias, isso se dá por estudos mais elaborados sobre o melhor tipo de pavimento utilizado na região (Ministério da Infraestrutura, 2019).

Segundo Souza (1980), pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. Esta estrutura assim constituída apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações.

De acordo a NBR-7207/82 da ABNT tem-se a seguinte definição: O pavimento é uma estrutura construída após terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto a:

- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

De uma forma geral, os pavimentos podem ser classificados em três tipos, são eles:

- Flexível: São aqueles em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (DNIT, 2006).

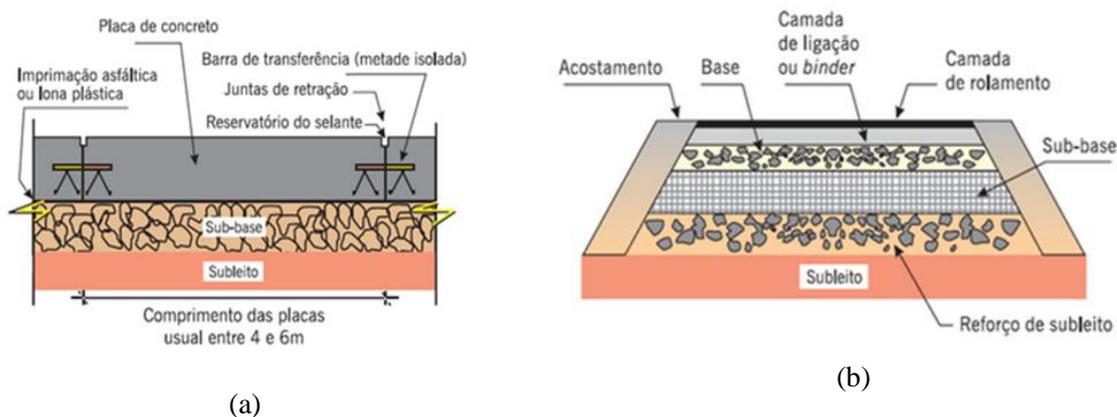
- Semi - Rígido: Caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como, por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica. (DNIT, 2006).
- Rígidos: São aqueles em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (DNIT, 2006).

No Brasil, os dois tipos de pavimentos mais utilizados são os pavimentos rígidos e os pavimentos flexíveis. Os flexíveis são utilizados com frequência em rodovias municipais e estaduais pelo seu baixo custo, enquanto os pavimentos rígidos são mais utilizados em rodovias federais por ter um custo de execução maior, (DNIT, 2006). Ainda de acordo com a NBR 7207/82:

- Subleito é o terreno de fundação do pavimento ou do revestimento.
- Sub-base é a camada corretiva do subleito, ou complementar à base, quando por qualquer circunstância não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido pela terraplanagem.
- Base é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos, sobre a qual se constrói um revestimento.
- Revestimento é a camada, tanto quanto for possível ser impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos.

Já na composição da estrutura do pavimento rígido utiliza-se apenas o Subleito, a Sub-base e a Placa de Concreto, mostrado na figura 1.

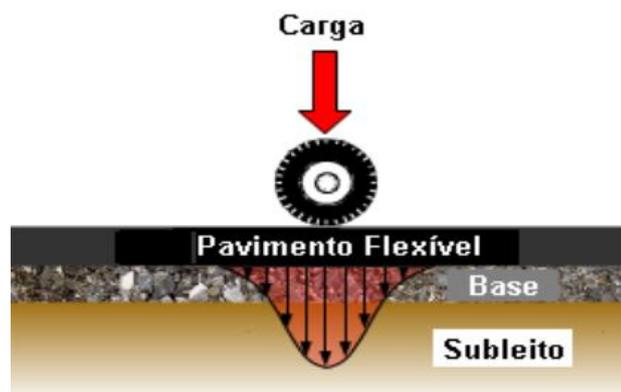
Figura 1 - Estruturas de pavimentos (a) Concreto-cimento (corte longitudinal) e (b) Asfáltico (corte transversal).



Fonte: Bernucci et.al. (2010)

O tipo de nomenclatura usada nos pavimentos flexíveis pode ser denominado de pavimentos asfálticos. O seu dimensionamento é por tração e flexão, por causa dos esforços que os veículos provocam, levando a deformações permanentes. O material usado neste tipo de pavimento é basicamente composto por concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ), Figura 2, (BERNUCCI et. al., 2010).

Figura 2 - Cargas no Pavimento Flexível.

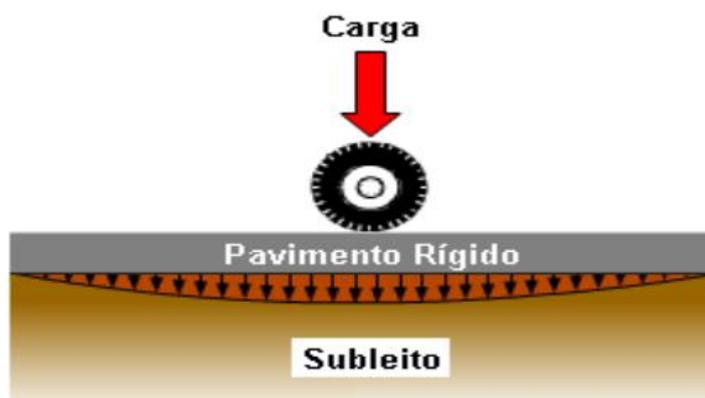


Fonte: Bernucci et. al. (2010)

De acordo com Bernucci et. al (2010), os agregados compõem cerca de 90% do revestimento, resistindo ao desgaste sofrido e transferindo as cargas que os veículos exercem sobre o solo; enquanto os materiais asfálticos possuem apenas 5% podendo estender até a 10%, possuindo também funções de aglutinação e de impermeabilização.

Pavimentos rígidos são formados através de uma mistura de agregados, areia, cimento e água, que é capaz de ser armada com barras metálicas. Esse tipo de pavimento, pode se romper sob os esforços de tração e flexão quando estão sujeitos a deformações, Figura 3, (BERNUCCI et. al, 2010).

Figura 3 - Cargas no Pavimento Rígido.



Fonte: Bernucci et. al (2010)

Placas de concreto são estruturadas acima do solo da fundação, ou acima de uma sub-base, promovendo os cargos de revestimento e de base, e possuindo ou não, propriedades de armações com aço (BALBO, 2009).

Os tipos de pavimentos rígidos podem ser compostos por diferentes tipos de concreto, sendo: simples, simples possuindo barras de transferência, armado, protendido, com armadura contínua e descontínua sem distribuição estrutural, (DNIT, 2016).

De acordo com Silva (2008), patologias desse tipo de pavimento são estruturais, basicamente consiste em atingir diretamente na eficiência de suporte as cargas exercidas dos veículos, como por exemplo, as trincas transversais que são estendidas através da espessura que a placa apresenta.

Para Medina (2015), esse tipo de pavimento seria aquele cujo tipo de ruptura se dá basicamente pelo trincamento por repetições das deformações elásticas.

Para que o tráfego nas rodovias seja seguro e com fluidez no tráfego o pavimento deve suportar aos efeitos do clima, não causar desgaste excessivo nos pneus, ser forte estruturalmente, atender ao nível de fluxo com eficiência e ter um bom sistema de drenagem na qual seja eficiente para o escoamento da água na superfície do pavimento.

De acordo com Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2019), para que todos os requisitos expostos sejam atendidos é necessário que a estrutura do pavimento seja composta por camadas que distribuam a solicitação de cargas, limitando as tensões e as deformações de maneira que o desempenho do pavimento e da rodovia seja eficiente por um longo período. Considerando os aspectos descritos, faz-se necessário ressaltar a importância de ao implantar uma rodovia, seja também dada à devida atenção a qualidade do solo existente na região e ao seu respectivo comportamento quando a tensão for aplicada sobre o mesmo.

Segundo Caputo (2017), para que sejam asseguradas as condições de conforto, segurança e economia na construção de uma rodovia, há que se proceder à investigação de natureza geológica e geotécnica da região, as quais constituem os fundamentos dos estudos de drenagem e de estabilidade dos cortes e túneis, aterros e dimensionamento dos pavimentos.

Estudos mais elaborados sobre o tipo de solo e a viabilidade socioeconômica da região na qual a rodovia será implantada podem até ser mais duradouros, mas geram um impacto financeiro e de planejamento bem mais econômico.

Um dos motivos pelo qual existem várias rodovias em más condições é provavelmente a não importância dada ou levada em consideração do tipo de solo existente naquela região.

Os solos, segundo Caputo (1983), são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química.

De acordo com Das (2007), o solo é definido como um agregado não cimentado de grãos minerais e matéria orgânica decomposta (partículas sólidas), com líquidos e gás nos espaços vazios entre as partículas sólidas.

O solo é constituído basicamente por partículas que podem ser agrupadas de acordo com as dimensões dos grãos. Cada grupo apresenta características próprias que indicam seu comportamento como material de construção. As partículas contidas em determinada faixa são classificadas como pedregulho, areia, silte e argila (NEVES, 2009).

Segundo Caputo (2017), no planejamento de um programa de investigações geotécnicas há que se considerar não só as características do terreno, natureza, propriedades, sucessão e disposição das camadas e presença do nível de água - como o tipo da estrutura: grande ou pequena, pesada ou leve e rígida ou flexível.

As obras rodoviárias, linearmente extensas e interessando a grandes áreas, onde, portanto, se encontram terrenos com características as mais variadas, exigem um cuidadoso reconhecimento geotécnico da região, ou seja, para que obras rodoviárias de grande porte sejam executadas de forma correta e que não haja problemas posteriormente é necessário que seja feito um estudo cuidadoso sobre a geologia e geotecnia da região (CAPUTO, 2017).

Este estudo objetiva a comparação e a viabilidade socioeconômica entre os dois tipos de pavimentos, pavimento rígido e flexível, levando em consideração a análise do solo da região. Justificando por meio das análises qual o tipo de pavimento mais indicado, junto das suas características, viabilidade econômica e principalmente a durabilidade da vida útil da rodovia, sendo levados em consideração os riscos, retornos e o tempo de manutenção para que os usuários utilizem com conforto e segurança.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MATERIAIS

Os ensaios de análise estrutural e o comportamento do solo estão de acordo com a resistência a ser aplicado, foi necessário o recolhimento de amostras in situ.

O solo foi coletado na rodovia que liga o município de João Pessoa ao município do Conde – PB 008, mais precisamente no trecho correspondente onde está instalado o Centro de Convenções de João Pessoa, Figura 4.

Figura 4 - Centro de Convenções de João Pessoa.



Fonte: Google Earth (2021)

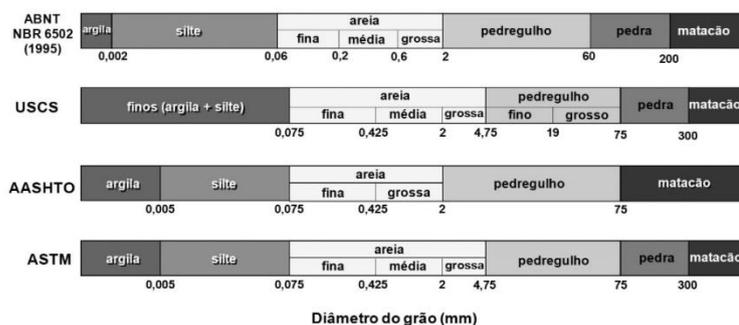
2.2 ENSAIOS

O estudo foi realizado através de ensaios sobre o tipo de solo e a determinada resistência a qual o solo presente na região pode suportar. Para a obtenção desses estudos foram utilizados ensaios conforme os estabelecidos nas normas NBR7181/2016, NBR7182/2016, NBR7180/2016, NBR6459/2016 e NBR 9895/2016, referentes a Análise granulométrica, Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez e ao Índice de Suporte Califórnia (ISC) e ao CBR.

2.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras. A análise granulométrica é o ensaio básico de laboratório, necessário à identificação de um solo, pelos sistemas de classificação adotados na Engenharia de solos, Figura 5 (Pinto,2006).

Figura 5 - Representação da classificação dos solos segundo a granulometria.



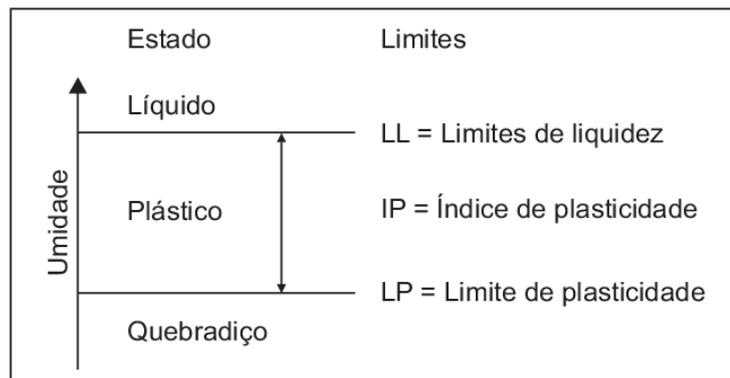
Fonte: Suporte Solos (2017)

2.4 LIMITE DE CONSISTÊNCIA OU LIMITE DE ATTEMBERG

Responsável por determinar os limites de consistência do solo. Segundo Attemberg, a qual se dá origem ao nome do ensaio, os solos finos apresentam um estado de consistência que varia com o teor de água, ou seja, o solo apresenta características de consistência diferentes de acordo com o teor de água. (Caputo,1988).

Os teores de umidade correspondentes aos limites de consistência entre sólido e semissólido; semissólido e plástico; e plástico e líquido são definidos como limite de contração, limite de plasticidade e limite de liquidez, Figura 6 (Pinto,2006).

Figura 6 - Limite de Attemberg



Fonte: Pinto (2006).

2.5 LIMITE DE LIQUIDEZ

De acordo com Pinto (2006), o limite de liquidez é definido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura nele feita precisa de 25 golpes para se fechar numa concha.

Este ensaio é realizado de acordo com a NBR 6459/2016, na qual se utiliza um recipiente em forma de concha chamado de Aparelho de Casagrande, Figura 7.

Figura 7 - Aparelho de Casagrande.



Fonte: Solução Engenharia (2017)

2.6 LIMITE DE PLASTICIDADE

De acordo com Caputo (1988), o limite de plasticidade (LP) é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para a qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento.

Este ensaio é padronizado pela NBR 7180/2016, como apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Limite de Plasticidade



Fonte: Solução Engenharia (2017).

2.7 ÍNDICE DE PLASTICIDADE

Segundo Caputo (1988), o índice de plasticidade é a diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade, segundo a equação 2.1:

$$IP = LL - LP \quad (2.1)$$

O índice de plasticidade define a zona em que o terreno se acha no estado plástico, sendo assim máximo para as argilas e nulo no caso das areias, ele fornece um critério para se ajuizar do caráter argiloso de um solo; assim, quanto maior o IP, mais plástico será o solo (CAPUTO, 1988). Segundo Jenkins (CAPUTO, 1988), os solos poderão ser classificados em:

Fracamente plásticos. $1 < IP < 7$
Medianamente plásticos. $7 < IP < 15$
Altamente plásticos. $IP > 15$

2.8 CBR (CALIFÓRNIA BEARING RATIO)

O ensaio CBR (*California Bearing Ratio*) ou ensaio ISC (Índice de suporte Califórnia) é um método utilizado para examinar o grau de resistência do solo a penetração de um cilindro padronizado com relação à penetração em uma brita padrão, ou seja, compara as propriedades mecânicas deste solo a uma brita padrão (NBR 9895/2016).

Esse valor de resistência é fundamental para a construção de pavimentações principalmente em estradas e rodovias. O Ensaio é padronizado pela NBR 9895/2016 e consiste em três etapas.

Na 1ª Etapa é realizada a compactação do corpo de prova através de energia de compactação, ou seja, com golpes de soquetes na fase normal (12 golpes/camada), na

intermediária (26 golpes/camada) e na final (55 golpes/camada), esta etapa é realizada com 5 camadas, Figura 9.

Figura 09 - Ensaio de Compactação – CBR.



Fonte: Suporte Solos (2017)

Na 2ª Etapa após terminar o processo de compactação é realizado o processo de expansão, na qual o corpo de prova compactado é colocado imerso a água por um período de 4 dias, coloca-se um relógio comparador para que seja feita a análise de expansão do solo a cada 24 horas, Figura 10.

Figura 10 - Ensaio de Expansão – CBR.



Fonte: Pavibras (2019)

Na 3ª Etapa após terminar o processo de expansão, os corpos de prova são drenados por 15 minutos e depois colocados em uma prensa de ensaio CBR/Marshall na qual será realizada a medição de resistência a penetração do cilindro por 10 minutos, fazendo a leitura de penetração a cada 0,5 minutos, como apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Prensa CBR/Marshall.

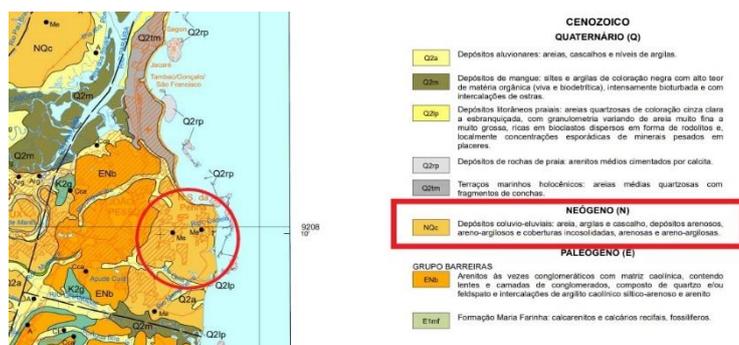


Fonte: Suporte Solos (2017)

2.9 ENSAIO EM LABORATÓRIO

Para a realização dos ensaios em laboratório foi necessário o recolhimento de amostras de solo na extensão da rodovia PB – 008 na altura do Km 05 onde fica instalado o Centro de Convenções de João Pessoa (Figura 04). A região onde foram retiradas as amostras compostas pela Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, que é um tipo de estrutura geológica caracterizada pela formação de depressões relativas ou absolutas devido ao acúmulo de sedimentos (partículas rochosas), formando várias camadas de rocha sedimentar, onde o seu período é o Neógeno das quais é composto basicamente por areia, argila e cascalho.

Figura 12 - Mapa Geológico do local onde foram coletadas as amostras.



Fonte: Mapa Geológico/CPRM (2020).

Foram recolhidas 3 amostras de solo, Figura 13, num total de 10 Kg cada uma em 3 pontos distintos da extensão da rodovia citada acima, a 1ª amostra foi recolhida no início do Centro de Convenções, Figura 14, sentido João Pessoa – Conde. A 2ª amostra, Figura 15, foi recolhida na metade da extensão do Centro de Convenções e a 3ª no final da extensão onde fica localizado o Centro de Convenções.

Figura 13 – Amostras de solo coletadas in loco



Fonte: Autor (2021)

Figura 14 – Local onde foi retirado a 1ª amostra de solo



Fonte: Autor (2021)

Figura 15 – Local onde foi retirado a 2ª amostra de solo



Fonte: Autor (2021)

No total foram recolhidos 30 kg de solo, que foram utilizados para realizar os ensaios em laboratório de análise granulométrico, limite de plasticidade, limite de liquidez e CBR.

Para a realização do ensaio granulométrico, foi determinada a quantidade do material coletado para uso como amostra, conforme NBR 6457/2016. O material foi colocado nas peneiras conforme NBR 7181/2016, e, de acordo com os resultados, foi obtida a curva granulométrica, que mostra as características do solo, de acordo com a classificação utilizada.

Já para realizar os ensaios de limites de liquidez e plasticidade, o material coletado in situ foi preparado de acordo com a NBR 6457/2016. De acordo com a NBR 6459/2016, para o ensaio de limite de liquidez (LL), foi necessária a adição de água até a amostra de solo tornar-se uma pasta homogênea, depois disso, a pasta é colocada no aparelho de Casagrande e é feita uma ranhura no meio da amostra, com a ajuda de um cinzel. Após isso, é necessário que o invólucro do aparelho sofra 35 golpes em queda de 2,5 cm; depois disso, foram feitas medições entre as aberturas do slot. Este procedimento foi realizado com mais 3 pontos, para obtenção do gráfico de plasticidade.

No limite de plasticidade os ensaios são padronizados de acordo com a NBR 7180/2016. Toma-se 10 gramas da amostra preparada e a coloca sobre uma placa de vidro que resista à pressão da palma; após isso, a amostra é amassada até atingir a forma cilíndrica, com diâmetro de 3 mm e o comprimento de 100 mm, o processo é repetido três vezes sem exceder o desvio padrão de 5% da primeira etapa e, em seguida, é colocada no forno para a determinação da umidade. Desta maneira, o índice de plasticidade é definido através da diferença de resultados de limite de liquidez e plasticidade.

Para determinar a resistência do solo foi feito o ensaio CBR – (California Bearing Ratio) padronizado pela NBR 9895/2016. No ensaio, avaliou-se a resistência do solo que

passou 4 dias sob a água após ser compactada em 3 níveis por golpes de soquete, sua resistência foi verificada através da penetração de um pistão como está estabelecido na norma acima. O pistão tem uma velocidade de penetração 0,05pol/minuto, o que corresponde a 1,27mm/minuto, o tempo de duração deste ensaio é de 6 minutos.

Durante a penetração do pistão é feito um relatório com os dados obtidos a cada 30 segundos do experimento, até alcançar os 6 minutos como instrui a norma. Após isso, é feita uma comparação entre pressão padronizada para que o solo penetre um solo-padrão de pedra britada e a pressão na penetração da mesma quantidade padrão, determinados pelas penetrações de 2 e 4 minutos, utilizando o maior resultado para o cálculo. Desta forma o ISC ou CBR (California Bearing Ratio) é dado pela equação 2;

$$\text{CBR} = \frac{\text{Pressão encontrada} \times 10}{\text{Pressão padrão}} \quad (2)$$

3 METODOLOGIA

O objeto de estudo analisado no presente artigo foi a análise de solo na PB 008 para que se pudesse fazer um estudo comparativo de pavimento rígido x pavimento flexível.

Para realização deste artigo foi feito um levantamento bibliográfico através de bases de dados, artigos científicos, livros e normas regulamentadoras. Foram levantados dados sobre a atual situação das rodovias no Brasil acerca dos tipos de pavimentos que são utilizados. Com isso pode-se observar a questão levando em consideração a viabilidade socioeconômico, o impacto do tipo de solo para a construção da rodovia e o fluxo de veículos na rodovia.

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo específico sobre a tipologia do solo da Rodovia PB 008 e sua influência na análise e desenvolvimento de uma comparação sobre qual o melhor tipo de pavimento para ser implementado naquela região, levando em consideração a viabilidade socioeconômico, o impacto do tipo de solo para a construção da rodovia e o fluxo de veículos na rodovia. Foram feitos vários ensaios regidos por normas para distinguir o tipo de solo, sua granulometria, sua eficiência quanto à umidade e sua plasticidade.

Para realização dos ensaios foram colhidas amostras de solo em pontos distintos da rodovia PB008.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os ensaios feitos em laboratório foram de extrema importância para que pudesse utilizar de dados mais específicos sobre o tipo de solo, sua qualidade e a utilização do mesmo no processo de estudo e discussões sobre o melhor tipo de pavimento a ser utilizado naquela região, vale ressaltar que no local já existe uma rodovia construída através do pavimento flexível.

4.1 ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O processo de análise granulométrico foi feito de acordo com normas que regem este ensaio conforme descrito na Metodologia.

Na 1ª amostra de solo, foi diagnosticado que era um solo predominantemente composto de areia do tipo fino, foram utilizados uma quantidade de massa no total de 2 kg, de acordo com a NBR 7181/2016, conforme a tabela 2.

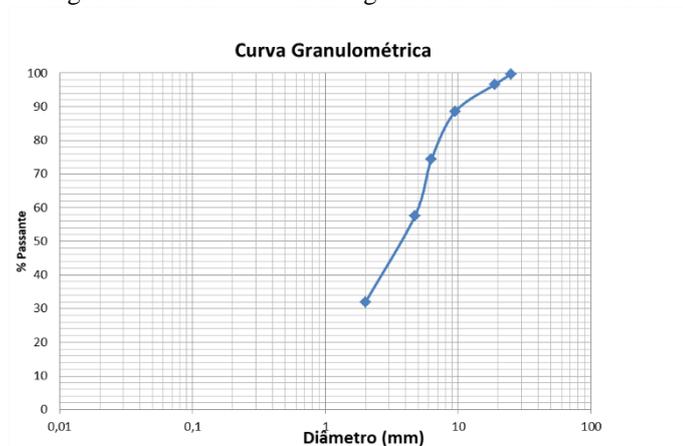
Tabela 2. Peneiramento da amostra 1 para análise granulométrica

Massa Total = 2kg					
Peneira	Massa Ret.	% Retida	%Acumulada	% Passante	Diâmetro(mm)
1”	6,59	0,32	0,32	99,68	25
3/4”	54,11	2,7	3,02	96,66	19
3/8”	99,43	5,1	8,12	88,54	9,5
1/4”	111,17	6,01	14,13	74,41	6,3
4	45,88	2,64	16,77	57,64	4,74
10	152,61	9,02	25,79	31,85	2
40	1538,21	75,9	101,69	0	0,42
Sobra	0	0	101,69	0	0

Fonte: Autor (2021)

De acordo com os resultados obtidos no peneiramento descrito na Tabela 1, pode-se traçar a curva granulométrica da amostra de acordo com a NBR 7181/2016, o resultado gráfico é representado pela Figura 16.

Figura 16. Gráfico da análise granulométrica – Amostra 1



Fonte: Autor (2021)

Ao analisar a tabela de peneiramento e a curva granulométrica foi constatado que a maior parte retida do solo foi na peneira 40, cujo diâmetro é bem fino com espessura de 0,42 mm, diante desse resultado pode-se analisar de fato o tipo de solo como do tipo fino.

Figura 17 – Amostra de Solo 1



Fonte: Autor (2021)

Foram feitos os mesmos ensaios para as amostras 2 e 3, cujos resultados seguem expostos nas tabelas 3 e 4 e nas figuras 18 e 20.

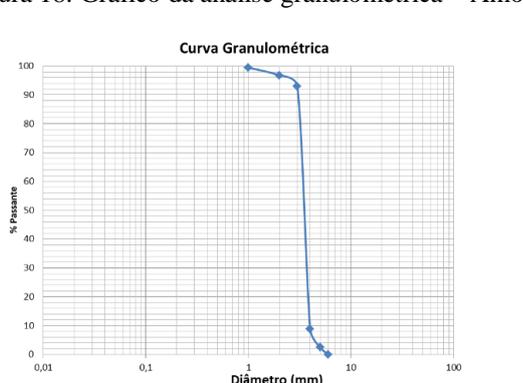
Tabela 3. Peneiramento da amostra 2 para análise granulométrica

Massa Total = 2kg					
Peneira	Massa Ret.	% Retida	%Acumulada	% Passante	Diâmetro(mm)
1”	10,34	0,51	0,51	99,49	25
3/4”	54,1	2,71	3,22	96,78	19
3/8”	71,85	3,85	7,07	92,93	9,5
4	1681,45	84,03	91,1	8,9	4,7
10	116,45	6,32	97,42	2,58	2
40	66,78	2,58	100	0	0,42
Sobra	0	0	103	0	0

Fonte: Autor (2021)

De acordo com os resultados obtidos no peneiramento descrito na tabela 2, podemos traçar a curva granulométrica da amostra de acordo com a NBR 7181/2016, o resultado gráfico é representado pela figura 18.

Figura 18. Gráfico da análise granulométrica – Amostra 2



Fonte: Autor (2021)

Analisando a tabela de peneiramento e a curva granulométrica foi constatado que a maior parte retida do solo foi na peneira 4, cujo diâmetro é maior com espessura de 4,7mm, este solo já apresenta uma coloração mais escura típico de solos dos tipos areno-argilosos, na qual sua estrutura é um pouco mais grossa do que a amostra 1.

Figura 19– Amostra de Solo 1



Fonte: Autor (2021)

Na tabela 3 é exposto o resultado do peneiramento da amostra 3.

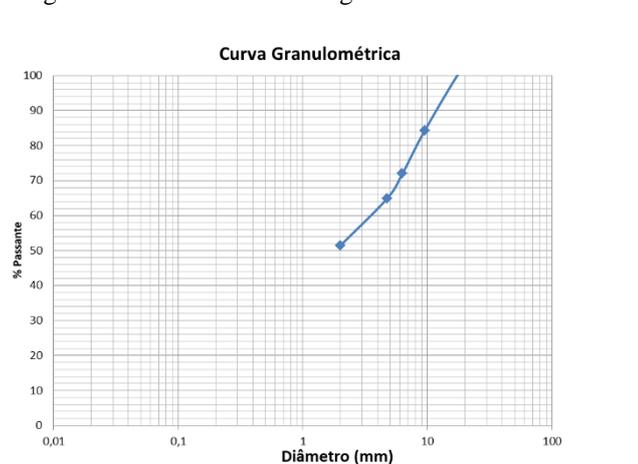
Tabela 4. Peneiramento da amostra 3 para análise granulométrica

Massa Total = 2kg					
Peneira	Massa Ret.	% Retida	%Acumulada	% Passante	Diâmetro(mm)
1"	0	0	0	105,4	25
3/4"	67,86	3,31	3,31	102,09	19
3/8"	357,62	17,87	21,18	84,22	9,5
1/4"	245,4	12,26	33,44	71,96	6,3
4	142,1	7,1	40,54	64,86	4,75
10	269,15	13,45	53,99	51,41	2
40	691,75	34,57	88,56	16,84	0,42
Sobra	227,01	16,84	105,4	0	0

Fonte: Autor (2021)

Com os resultados obtidos no peneiramento descrito na tabela 4, podemos traçar a curva granulométrica da amostra de acordo com a NBR 7181/2016, o resultado gráfico é representado pela figura 20.

Figura 20. Gráfico da análise granulométrica – Amostra 3



Fonte: Autor (2021)

De acordo com a tabela de peneiramento e a curva granulométrica foi analisado que a maior parte retida do solo foi na peneira 40, cujo diâmetro tem a espessura de 0,42mm, assim como a amostra 1 é um solo fino constituído basicamente por areia, como demonstrado na figura 21.

Figura 21 – Amostra de Solo 3



Fonte: Autor (2021)

4.2 ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ

Com o auxílio do aparelho de Casagrande, foram feitos os ensaios de liquidez de acordo com a NBR 6459/2016, dessa forma conseguimos identificar os valores relacionados ao teor de umidade e ao número de golpes utilizados neste ensaio.

Assim como o ensaio de análise granulométrica, foram utilizadas 3 amostras da qual foram extraídos 3 valores para cada amostra, como demonstrado nas tabelas 5 e 6.

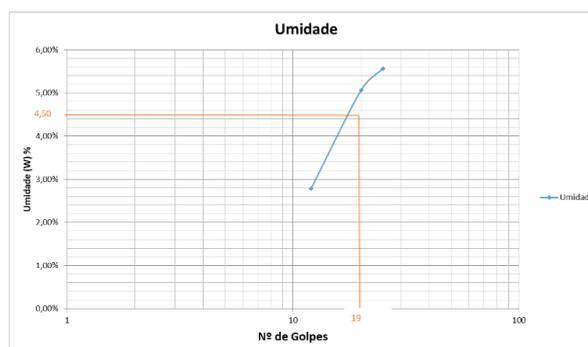
Tabela 5. Limite de Liquidez – Amostra 1

Limite de Liquidez			
Cápsula nº	1	2	3
Golpes Nº	12	20	25
Peso Bruto Úmido (g)	768,4	786,4	896,4
Peso Bruto Seco (g)	758	767	869,4
Tara da Cápsula (g)	384,4	384,4	384,4
Peso da Água (g)	10,4	19,4	27
Peso do Solo Seco (g)	373,6	382,6	485
Umidade	2,78%	5,07%	5,57%

Fonte: Autor (2021)

Conforme os valores apresentados na tabela 5 obteve o gráfico demonstrado na figura 22.

Figura 22. Gráfico do Limite de Liquidez– Amostra 1



Fonte: Autor (2021)

Como demonstrado na Figura 22, o limite de liquidez com 19 golpes para a amostra 1 é de 4,50%.

Da mesma forma, foram feitos os mesmos ensaios para as amostras 2 e 3 conforme expostos nas tabelas 5 e 6 e figuras 22 e 23.

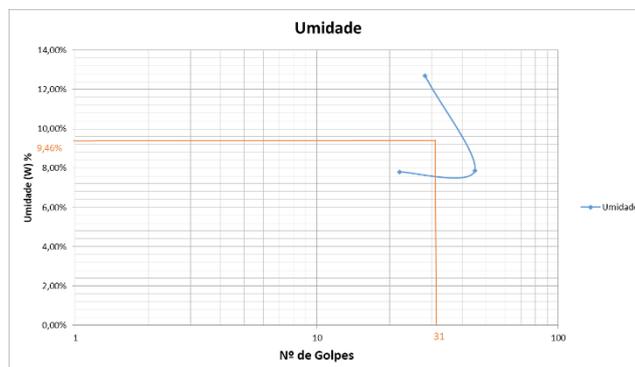
Tabela 6. Limite de Liquidez – Amostra 2

Limite de Liquidez			
Cápsula nº	1	2	3
Golpes Nº	28	45	22
Peso Bruto Úmido (g)	615	636,4	638,4
Peso Bruto Seco (g)	589	618	620
Tara da Cápsula (g)	384,4	384,4	384,4
Peso da Água (g)	26	18,4	18,4
Peso do Solo Seco (g)	204,6	233,6	235,6
Umidade	12,71%	7,88%	7,81%

Fonte: Autor (2021)

De acordo com os valores apresentados na tabela 5 obteve o gráfico demonstrado na Figura 23.

Figura 23. Gráfico do Limite de Liquidez– Amostra 2



Fonte: Autor (2021)

Como demonstrado na Figura 23, o limite de liquidez com 31 golpes para a amostra 2 é de 9,40 %.

Na tabela 7 é demonstrado os resultados obtidos no ensaio de limite de liquidez realizados na amostra 3.

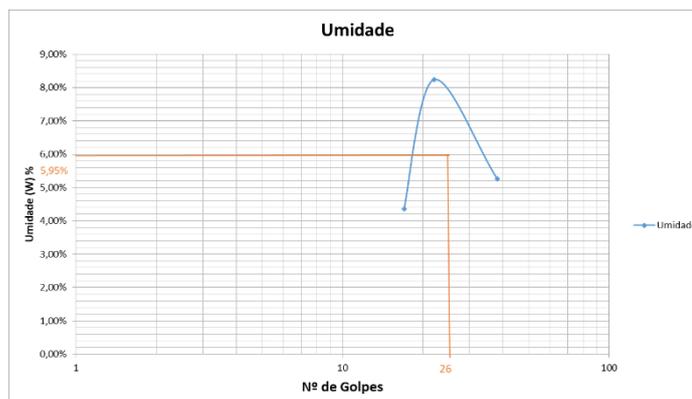
Tabela 7. Limite de Liquidez – Amostra 3

Limite de Liquidez			
Cápsula nº	1	2	3
Golpes Nº	38	22	17
Peso Bruto Úmido (g)	784,4	744,4	729,4
Peso Bruto Seco (g)	764,4	717	715
Tara da Cápsula (g)	384,4	384,4	384,4
Peso da Água (g)	20	27,4	14,4
Peso do Solo Seco (g)	380	332,6	330,6
Umidade	5,26%	8,24%	4,36%

Fonte: Autor (2021)

Com os valores apresentados na tabela 7 obteve o gráfico demonstrado na Figura 24.

Figura 24. Gráfico do Limite de Liquidez– Amostra 3



Fonte: Autor (2021)

Como demonstrado na Figura 24, o limite de liquidez com 26 golpes para a amostra 2 é de 5,95%.

4.3 LIMITE DE PLASTICIDADE

De acordo com a NBR 7181/2016 foi realizado o ensaio de limite de plasticidade que apresentou alguns resultados importantes para a conclusão dessa pesquisa.

Na amostra 1, ao realizar o ensaio de limite de plasticidade foi diagnostico que não seria possível concluir o mesmo, pois a partir dos resultados expostos na análise granulométrica já se teria uma resolução sobre o tipo de solo da qual estava sendo estudado, o solo apresentou as seguintes características respaldando o não cumprimento do ensaio de limite de plasticidade.

O solo obtido na amostra 1 é composto principalmente por areia do tipo fina, ou seja, não há plasticidade nesse material, sendo assim considera-se que o índice de plasticidade é nulo, $IP = NP$ (Não – Plástico).

Da mesma maneira aconteceu para as amostras 2 e 3, onde também não foi possível concluir o ensaio pelo mesmo motivo da amostra 1, tendo apenas algumas divergências em relação ao solo.

O solo da amostra 2 já apresentava uma coloração mais escura, esse tipo de solo é composto principalmente por areia com uma pequena quantidade de argila, mesmo o solo tendo uma quantidade de argila na sua composição não foi possível realizar o estudo pois a proporção de areia era maior, tornando o solo com índice de plasticidade nulo, $IP = NP$ (Não Plástico).

O solo da amostra 3 apresentou as mesmas características do solo, ou seja, um solo composto na sua totalidade por área do tipo fina, onde foi diagnosticado que o mesmo não apresenta plasticidade, sendo assim considera o mesmo com o índice de plasticidade nulo, $IP=NP$ (Não - Plástico).

4.4 ENSAIO DE CBR (CALIFÓRNIA BEARING RATIO)

Durante os ensaios anteriores, concluiu-se que não seria necessário fazer o ensaio de CBR, pois no local de estudo deste presente artigo já existe uma Rodovia da qual está exposta na metodologia, diante disso subentende-se que por já existir uma rodovia no local de retirada e análise de amostras o CBR foi aprovado para a implementação da mesma.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo na qual está situada e implementada a Rodovia PB- 008 apresentou algumas diferenças quanto as suas características.

As amostras de solo 1 e 3 apresentaram características semelhantes, mesmo sendo coletadas de locais distintos, foi possível observar que o solo predominante naquela região é composto por areia.

Na amostra 2 foi observado que a mesma tinha uma certa diferença, quanto as demais amostras, a sua coloração mais escura e principalmente a sua demora quanto a secagem da água foi crucial para entender que existia uma mistura de solos naquele local.

No ensaio granulométrica por peneiramento foi identificado que o módulo de finura para a amostra 1 foi de 1,94, para a amostra 2 foi de 2,99 e para a amostra 3 foi de 2,41, ou seja, as amostras 1 e 3 apresentam uma areia fina, já a amostra 2 apresenta uma areia média.

O estudo dos solos é muito importante para as obras de engenharia, principalmente quando se trata de pavimentação de rodovias, pois dependendo do tipo de solo que aquela região possui, pode ser detectado qual o melhor tipo de pavimento a ser utilizado naquela rodovia levando em consideração o seu custo de implementação, a sua vida útil e principalmente o seu tempo de reparo.

O pavimento flexível tem uma vida útil de 10 anos, sendo que entre 2 e 5 anos dependendo do fluxo de veículos na rodovia seja necessário o reparo no pavimento.

Nos casos dos pavimentos rígidos a sua vida útil ultrapassa os 30 anos, sendo necessário o reparo da mesma a partir de 10 anos desde a sua implementação e seu custo de implementação é cerca de 30% mais caro que o pavimento flexível.

Levando em consideração os estudos e ensaios realizados nesse artigo, o melhor pavimento a ser utilizado na Região da PB – 008 é o pavimento flexível, tendo em conta o baixo fluxo de veículos que transitam naquela região, principalmente os veículos mais pesados como caminhões ou carretas e ônibus, assim como o tipo de solo que existe naquele local ser um solo mais duro e quando bem compactado não apresenta recalques significantes através da atuação da carga vertical, onde por ser um polo turístico e uma região em constante desenvolvimento na qual há um aumento significativo de fluxo de veículos principalmente na época de verão e feriados, havendo assim com o passar dos anos, a possível mudança do pavimento flexível para o pavimento rígido, onde na qual já foi comprovado mediante estudos que o solo atende bem as necessidades dos dois tipos de pavimentos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Solo – Preparação de Amostras. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207**: Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. . **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras, Abeda, 2010.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N.; RODRIGUES, M. A. **Mecânica dos solos e suas aplicações: mecânica das rochas, fundações e obras da terra**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2017.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1983.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988.

Centro de convenções de João Pessoa. Disponível em: <https://earth.google.com/web>. Acesso em: 09 de abril de 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de Rodovias**. 2019. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2021

DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DNIT. **Manual de pavimentação**. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719). Empresa de Planejamento e Logística S.A. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/>. Acesso em 09 de abril de 2021.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

Ministério da Infraestrutura. Rodovias Federais. Disponível em: <https://antigo.infraestrutura.gov.br/RODOVIAS>. Acesso em: 07 mai de 2021.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. V. (2009). **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Acessado em 10/maio/2021.

PAVIBRAS. **Sondagem rotativa**, c2017. Disponível em: <http://pavibras.eng.br/sondagens/>. Acesso em: 10 de abril de 2021.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. Oficina de Textos. 3.ed. São Paulo, 2006.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Mapa online**, 2020. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/>. Acesso em: 12 de novembro de 2020.

SILVA, P. F. A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008.

SNV - Sistema Nacional de Viação. Nova versão do sistema Nacional de Viação. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/nova-versao-do-sistema-nacional-de-viacao-snv-foi-publicada-no-site-do-dnit>. Acesso em: 06 de maio 2021.

SOUZA, M. L. de. **Pavimentação rodoviária**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 2 ed. São Paulo, LTC, 1980.

Suporte, sondagem e investigações. Análise granulométrica do solo: ensaios geotécnicos. Disponível em: <https://www.suportesolos.com.br/blog/analise-granulometrica-do-solo-ensaios-geotecnicos-o-objetivo-e-as-fracoes-de-solo/71/>. Acesso em: 15 de maio de 2021.