



**INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
ENGENHARIA CIVIL**

SAULO MACIEL JUNIOR

**PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS FLEXIVEL E SUAS RECUPERAÇÕES –
ESTUDO DE CASO: Pátio Da Fertilizantes Tocantins**

**PORTO NACIONAL - TO
2019**

SAULO MACIEL JUNIOR

**PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS FLEXIVEL E SUAS RECUPERAÇÕES –
ESTUDO DE CASO: Pátio Da Fertilizantes Tocantins**

Projeto de Pesquisa submetido ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos – ITPAC Porto, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Alesi Mendes

**PORTO NACIONAL - TO
2019**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Camadas constituintes de um Pavimento.....	12
Figura 2: Classificação dos Revestimentos Flexíveis.	14
Figura 3: Estrutura de um Pavimento Flexível.	15
Figura 4: Estrutura de um Pavimento Semirrígido.	16
Figura 5: Estrutura de um Pavimento Rígido.	16
Figura 6: Afundamento do asfalto.	17
Figura 7: Ondulação ou corrugação do pavimento.	18
Figura 8: Trinca Isolada Transversal.	19
Figura 9: Trinca Isolada Longitudinal	20
Figura 10: Trinca Interligada “couro de jacaré”	21
Figura 11: Trinca tipo “bloco”	21
Figura 12: Exsudação	22
Figura 13: Desgaste do pavimento	23
Figura 14: Painelas no revestimento asfáltico do pavimento.	24
Figura 15: Escorregamento do Revestimento.....	25
Figura 16: Coeficiente de Equivalência.....	28
Figura 17: Gráfico de dimensionamento do método DNER	29
Figura 18: Relação entre o número N e as espessuras mínimas de revestimento.....	29
Figura 19: Espessura das camadas e suas respectivas nomenclaturas.....	31

LISTAS DE TABELAS

Tabela 3 – Cronograma de Atividades	36
--	-----------

LISTAS DE ABREVIACÕES

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem

CBR – Califórnia Bearing Ratio

DAER – Departamento Autônomo de Estrada e Rodagem

RS – Rio Grande do Sul

TO – Tocantins

IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias

K – Coeficiente de Recalque

USACE - United States Army Corps of Engineers

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	JUSTIFICATIVA	9
1.2	OBJETIVOS	10
1.2.1	Objetivo Geral	10
1.2.2	Objetivos Específicos.....	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO.....	11
2.1.1	Estrutura dos Pavimentos.....	11
2.2	CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS.....	13
2.2.1	Pavimentos Flexíveis.....	13
2.2.2	Pavimento Semirrígido	15
2.2.3	Pavimento Rígido.....	16
2.3	PATOLOGIA EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	16
2.3.2	Afundamento	17
2.3.3	Corrugação.....	17
2.3.4	Fenda	18
2.3.5	Exsudação	22
2.3.6	Desgaste	22
2.3.7	Panela	23
2.3.8	Escorregamento do Revestimento	24
2.4	DIMENSIONAMENTO DE UM PAVIMENTO	25
2.4.1	Determinação do CBR	25
2.5	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	26
3	METODOLOGIA.....	27
3.1	DETERMINAÇÃO DO NÚMERO “N”	27
3.1.1	Camadas estruturais do pavimento	28

3.1.2	Umidade.....	31
3.1.3	Granulometria	32
3.2	PROPOR O DIMENSIONAMENTO	34
4	RESULTADOS ESPERADOS.....	35
5	CRONOGRAMA	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

Ao termino da Segunda Guerra Mundial, com o espantoso crescimento dos meios de comunicação e o florescimento de novas nações, as pressões sobre os órgãos públicos, visando à melhoria do sistema viários, levou a um surto marcante nos trabalhos de pavimentação de rodovias, aumentando significativamente as extensões pavimentadas e, com isso, o conforto e a segurança desse sistema de transporte. Os dimensionamentos dos pavimentos tiveram, então, no método CBR, com as modificações citadas, o meio adequado para determinação das espessuras das camadas desses pavimentos, difundindo-se o método praticamente por todo o mundo (SENÇO, 2007).

Sendo assim a pavimentação tem como meta propiciar um trafego confortável e seguro, com estruturas e materiais capazes de suportar os esforços decorrentes da ação do trafego combinados com as condições climáticas, a um mínimo custo, ou seja, buscando, sempre que possível, o aproveitamento de materiais locais para as obras, garantindo um bom desempenho em termos de custos operacionais e de manutenção ao longo dos anos de serviço desta infraestrutura (BALBO, 2007).

Os pavimentos rodoviários se classificam em três tipos distintos devido à característica do revestimento utilizado: flexíveis, semirrígidos e rígidos. Obviamente que em alguns locais geralmente não há uma pavimentação adequada, ou nem mesmo qualquer pavimentação.

Por conta das dificuldades enfrentadas no país com relação aos pavimentos, e das condições de desgaste existentes, surgiu a necessidade de oferecer maneiras de evitar as patologias na manutenção ou processo de recuperação dos pavimentos flexíveis. O presente trabalho visa apontar a solução mais indicada para o dimensionamento e recuperação da capacidade estrutural o pavimento.

1.1 JUSTIFICATIVA

A principal condição que influencia a qualidade das rodovias brasileiras é a ocorrência de patologias. Patologias são defeitos, construtivos ou não, desenvolvidos ou agravados com o tempo em função do uso, intemperismos ou por equivocado dimensionamento, que fazem com que o pavimento deixe de exercer a função de oferecer um rolamento confortável e seguro para as rodovias nas quais foram construídos.

Qualquer índice que estime as condições de utilidade do pavimento deve sofrer variantes ao longo de sua vida útil, que depende da constante e excessiva carga aplicada no pavimento, sucedendo devido as repetições, deformações permanentes e elásticas.

Em tal caso, é indiscutível a dependência da qualidade das estradas, para fortalecimento da logística de escoamento de produtos e insumos, visando o crescimento econômico direta ou indiretamente por parte do tráfego leve e pesado de veículos. Logo, percebe-se a necessidade de indicar neste estudo de caso de maneira concisa as patologias existentes na área de carga e descarga da empresa Fertilizantes Tocantins localizada no município de Porto Nacional-TO, as respectivas soluções a estrutura do pavimento, a fim de restabelecer condições aceitáveis para a circulação de veículos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a estrutura do pavimento flexível da área de carga e descarga de uma empresa de fertilizantes em Porto Nacional-TO.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a solicitação do Pavimento por meio do Número N.
- Analisar para a solicitação encontrada a adequabilidade ou inequabilidade do pavimento.
- Propor dimensionamento do pavimento de acordo a solicitação existente, caso o dimensionamento estiver adequado, propor um plano de manutenção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO

Define-se como pavimento toda a estrutura composta de múltiplas camadas de Espessuras variáveis assentes sobre um subleito previamente regularizado, com o objetivo de resistir aos esforços provenientes do tráfego bem como do clima, proporcionando aos usuários a melhoria nas condições de segurança, economia e conforto (DNIT, 2006).

Segundo Senço (2007) a estrutura do pavimento construído sobre a terraplanagem e destinado a:

- Resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los;
- Melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.

Portanto é uma estrutura de várias camadas de espessuras finitas que se assenta sobre um semi-espaço infinito e exerce a função de fundação da estrutura, chamada subleito.

2.1.1 Estrutura dos Pavimentos

Os pavimentos asfálticos são formados por quatro ou mais camadas de acordo com o procedimento, sendo as camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito.

Figura 1: Camadas constituintes de um Pavimento



Fonte: triunfotransbrasiliana.com.br

- **Revestimento asfáltico:** De acordo com Balbo (2007), o revestimento do pavimento é a última camada existente na estrutura do mesmo. Este irá receber diretamente a ação do tráfego e será diretamente ligada a qualidade do subleito, independentemente do tipo de pavimento, sendo evidente que quanto melhor for a qualidade do subleito, menor será a necessidade de grandes espessuras no revestimento. O revestimento é a camada que apresenta o material com o maior custo no desenvolvimento de pavimento asfáltico, portanto deverá ter sua espessura respeitada para que não haja a redução da resistência daquele pavimento.

- **Base:** camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los, sendo relevante na estrutura do pavimento, pois fica localizada logo abaixo do revestimento do pavimento, seja rígido, semirrígido ou flexível, pois será responsável pelo suporte estrutural do pavimento tendo que dissipar as cargas para as próximas camadas, reduzindo sua intensidade. Caso a qualidade da base não seja boa será muito provável que aconteça algum dano a esse pavimento (SENÇO, 2007).

- **Sub-base:** camada complementar à base, quando, por circunstâncias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito. Segundo a regra geral — com exceção dos pavimentos de estrutura invertida - o material constituinte da sub-base deverá ter características tecnológicas superiores às do material de reforço; por sua vez, o material da base deverá ser de melhor qualidade que o material da sub-base (BALBO, 2007).

- **Subleito:** Quanto ao subleito, faz parte da fundação do pavimento ou do revestimento. Quando necessário, estabelece um reforço do subleito, correspondente aos esforços impostos sobre sua superfície serão aliviados em sua profundidade,

portanto, ter maior preocupação com seus estratos superiores, onde os esforços solicitantes atuam com maior intensidade (BALBO, 2007).

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

De uma forma geral, os pavimentos são classificados de acordo com sua constituição principal, podendo ser flexíveis, semirrígidos e rígidos:

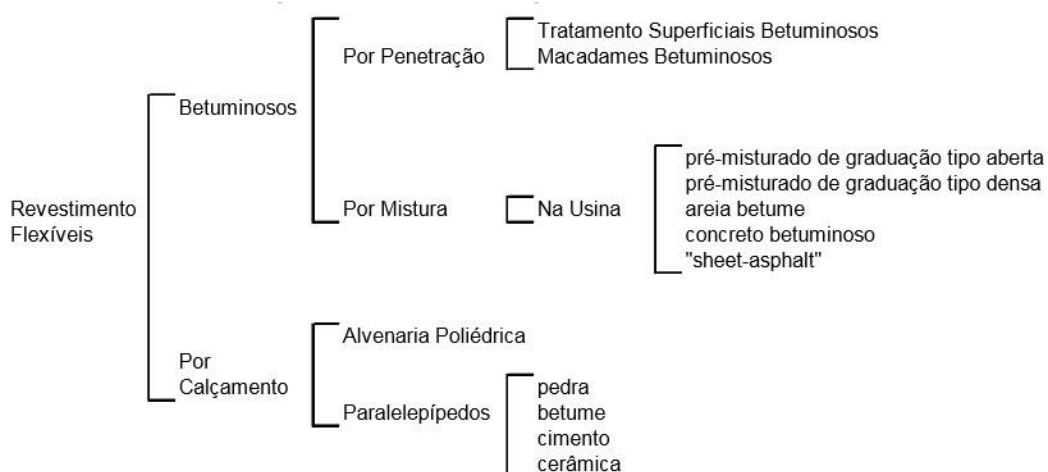
2.2.1 Pavimentos Flexíveis

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, pavimento flexível é aquele em que quaisquer camadas sofrem deformação elástica sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhos, revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006).

Segundo Bernucci (2008), pavimentos flexíveis, em geral associados aos pavimentos asfálticos, são compostos por camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentastes.

- Revestimento

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, os revestimentos do pavimento flexível são classificados de acordo com o esquema apresentado na a seguir (Figura 2):

Figura 2: Classificação dos Revestimentos Flexíveis.

Fonte: DNIT, 2006

- Base

As bases podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, misturas de solos e agregados (solo-brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizado quimicamente com ligante asfáltico, concreto, etc.

No caso de solos estabilizados quimicamente, o consumo de aglomerantes são pequenos. A função da base é distribuir os esforços para camadas inferiores. Quando a camada de base é muito espessa, procura-se por razões de natureza econômica e construtiva, dividi-la em duas camadas, criando assim uma sub-base, geralmente de menor custo (BALBO, 2007).

- Sub-base

Utilizada para reduzir a espessura da base, tem como objetivo receber os esforços provenientes da base, e redistribuí-los para a fundação, drenar as infiltrações que possam ocorrer nas camadas superiores e impedir a ascensão da água capilar evitando que atinjam as camadas nobres do pavimento (BALBO, 2007).

- Reforço do subleito

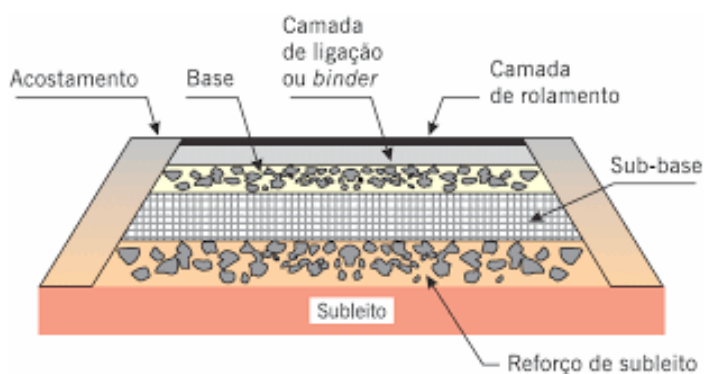
Admita-se que um dado subleito composto de solo com pequena resistência aos esforços verticais (de cisalhamento) que ocorreriam sobre a sua superfície. Neste

caso, é preciso pensar em se executar sobre o subleito uma camada de solo de melhor qualidade, que sirva como um reforço sobre a camada de superfície, de maneira que a fundação subjacente a esse esforço receba pressões de menor grandeza, compatíveis com sua resistência. O emprego da camada de reforço de subleito não é obrigatório, pois espessuras maiores de camadas superiores poderiam, em tese, aliviar as pressões sobre um subleito de pequena resistência a esforços verticais. Contudo, procura-se utilizá-lo em tais circunstâncias por razões econômicas, pois subleitos de resistência baixa exigiriam para os pavimentos flexíveis, camadas mais espessas de base e sub-base (BALBO, 2007).

- Subleito

Quanto ao subleito, os esforços impostos sobre sua superfície serão aliviados em sua profundidade, portanto, ter maior preocupação com seus estratos superiores, onde os esforços solicitantes atuam com maior intensidade. O subleito será constituído de material natural consolidado e compactado (no caso de corte do corpo da estrada) ou por um material transportado e compactado, que é no caso dos aterros (BALBO, 2011).

Figura 3: Estrutura de um Pavimento Flexível.



Fonte: inovacivil.com.br

2.2.2 Pavimento Semirrígido

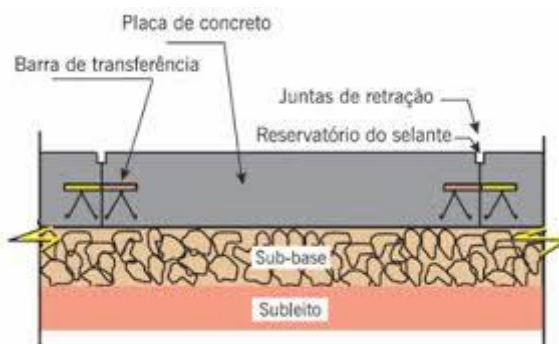
Pavimento com revestimento intermediário, entre flexível e o rígido. Caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimenteadas como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006).

Figura 4: Estrutura de um Pavimento Semirrígido.

Fonte: DER-PR, 2008

2.2.3 Pavimento Rígido

Aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação as camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland (DNIT, 2006).

Figura 5: Estrutura de um Pavimento Rígido.

Fonte: Ibracon.org.br

2.3 PATOLOGIA EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

O termo "patologia" é derivado do grego (pathos - doença, e logia - ciência, estudo) e significa "estudo da doença". Na construção civil pode-se atribuir patologia aos estudos dos danos ocorridos em edificações.

As patologias podem ser associadas em duas classes: estrutural e funcional. Uma patologia de classe estrutural está associada à uma diminuição de capacidade

de sustentação de carga do pavimento. As patologias de classe funcional estão alusivas às condições de segurança e trafegabilidade do pavimento (DNIT, 2006).

De acordo com DNIT (2006) as Patologias em Pavimentos Flexíveis podem ser:

2.3.2 Afundamento

Os Afundamentos são deformações plásticas que ocorrem devido ao amplo fluxo de tráfego e pelo excesso de carga, devido à ação repetida da passagem das cargas de roda dos pneus e devido ao fluxo canalizado dos veículos nas vias que causam as deformações, geralmente apresentam elevações ao longo dos lados do afundamento, conforme mostra a figura 6. Quando sua extensão for até 6 m, é chamado de Afundamento Plástico Local; caso seja maior do que 6 m longitudinalmente, ele é Afundamento Plástico de Trilha (SILVA, 2008).

Figura 6: Afundamento do asfalto.



Fonte: DER/PR.

2.3.3 Corrugação

As Corrugações são conhecidas popularmente como “Costela de Vaca”, são Ondulações transversalmente ao eixo da via pavimentada (várias ondulações próximas umas das outras com um intervalo menor que 3 m), devido ao excesso de

massa asfáltica aplicada naquele local (baixa resistência) ou finos (baixa granulometria).

As corrugações estão diretamente relacionadas às Tensões Cisalhantes horizontais geradas pela tração ou frenagem dos veículos, como mostra na figura 7. É muito fácil de acontecer em subidas e descidas acentuadas, curvas e interseções (SILVA, 2008).

As Ondulações que ocorrem somente na camada superficial, ou seja, no revestimento flexível, são chamadas de Escorregamento de Massa e são devido à Baixa Estabilidade da mistura asfáltica, sujeita ao tráfego pesado, onde a mistura asfáltica é expulsa pelo tráfego para fora da trilha de roda. A Baixa Estabilidade ocorre devido ao excesso de massa asfáltica aplicada naquele local, ou granulometria inadequada dos agregados ou arredondamento dos agregados (SILVA, 2008).

Figura 7: Ondulação ou corrugação do pavimento.



Fonte: sintralog.com.br

2.3.4 Fenda

De acordo com DNIT (2006), qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a abertura de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas, conforme adiante descrito.

a) Fissura

As fissuras são fendas incipientes que ainda não causam problemas funcionais ao revestimento, não sendo assim consideradas quanto à gravidade nos métodos atuais de avaliação das condições de superfície. São de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível a vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m.

b) Trinca

Fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada.

c) Trinca transversal

Trinca isolada que apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca transversal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca transversal longa.

Figura 8: Trinca Isolada Transversal.



Fonte: DAER – RS, 1978.

d) Trinca longitudinal

Trinca isolada que apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca longitudinal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca longitudinal longa.

Figura 9: Trinca Isolada Longitudinal



Fonte: DAER – RS, 1978.

e) Trinca de retração

Trinca isolada não atribuída aos fenômenos de fadiga e sim aos fenômenos de retração térmica ou do material do revestimento ou do material de base rígida ou semirrígida subjacentes ao revestimento trincado.

f) Trinca tipo “Couro de Jacaré”

Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas.

Figura 10: Trinca Interligada “couro de jacaré”



Fonte: DAER – RS, 1978.

g) Trinca tipo “Bloco”

Conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas.

Figura 11: Trinca tipo “bloco”



Fonte: DAER – RS, 1978.

2.3.5 Exsudação

No calor o asfalto dilata e como tem baixo volume de vazios ou exagero de ligantes, não havendo espaço suficiente para o volume de massa asfáltica ocupar, o pavimento exsudará através do revestimento e forma uma superfície brilhosa devido ao excesso de ligante. Normalmente ocorre em trilha de roda. Também ocorre com o calor, quando o asfalto diminui sua viscosidade e o agregado penetra o asfalto (SILVA, 2008).

Figura 12: Exsudação



Fonte: DAER – RS, 1978.

2.3.6 Desgaste

O Desgaste Superficial é devido ao elevado tráfego com intemperismo. O Desgaste é caracterizado pela Aspereza Superficial, a causa é a volatilização e a oxidação do asfalto, sob ação abrasiva do tráfego e de causas naturais. O arrancamento de partículas de massa asfáltica e agregados ocorre em idades avançadas do pavimento. Se a perda de agregados ocorrerem em pouco tempo após a abertura do fluxo de veículos, a causa pode ser um superaquecimento do Asfalto na usina ou carência de ligante na mistura asfáltica (SILVA, 2008).

Figura 13: Desgaste do pavimento



Fonte: DAER – RS, 1978.

2.3.7 Panela

Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas (DNIT, 2006).

Basicamente a Panela é um Buraco que se forma no revestimento e que pode atingir a camada de Base da estrutura do pavimento. Os Buracos evoluem de patologias como Trincas, Afundamentos ou Desgaste Superficial. A água é comprimida quando passa a roda dos veículos e tende a desagregar ou amolecer as camadas do pavimento, ocorrendo outra patologia que são os Afundamentos em Trilha de Roda (SILVA, 2008).

Em períodos chuvosos, devido ao excesso de água de chuva que entram nas trincas superficiais do revestimento, induzindo a uma degradação mais rápida do revestimento, conforme mostra a Figura 14, formando panelas (SILVA, 2008).

Figura 14: Painelas no revestimento asfáltico do pavimento.



Fonte: sindetransrp.com

2.3.8 Escorregamento do Revestimento

Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua (DNIT,2006). A trinca em forma de Meia-Lua é devido à falta de aderência ou a falta de limpeza durante a execução da camada de revestimento e a camada de base, ou podendo ser a massa asfáltica que possui baixa resistência. É comum encontrar a patologia Escorregamento de massa em áreas de frenagem e de interseções, principalmente em tráfego pesado, quando o veículo causa o deslizamento de massa asfáltica (baixa aderência) ou a deformação do revestimento (baixa resistência) (SILVA, 2008).

Figura 15: Escorregamento do Revestimento



Fonte: DAER – RS, 1978.

2.4 DIMENSIONAMENTO DE UM PAVIMENTO

O dimensionamento de um pavimento consiste basicamente na determinação das espessuras das camadas da estrutura desse pavimento, visando atender o número N. Para esse dimensionamento será essencial o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR).

O Método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem tem como base a avaliação não só da constituição do pavimento, como também as solicitações já suportadas e as que ainda deverão ocorrer durante o período restante da vida útil (SENÇO, 2001).

Concordante com o método citado acima, está o critério de determinação da capacidade de suporte do subleito e dos materiais granulares constitutivos dos pavimentos, estabelecido pelo método CBR.

2.4.1 Determinação do CBR

Método de ensaio, adotado por vários órgãos rodoviários no Brasil e no mundo. Esse ensaio foi desenvolvido pelo engenheiro O. J. Porter, diretor da Divisão de materiais do Califórnia Highway Department, e posteriormente aprimorado pelo United States Corps of Engineers (USACE), com o objetivo de integrar no dimensionamento de pavimentos rodoviários, determinando a capacidade de suporte de um solo compactado (SENÇO, 2007).

Foi introduzido no Brasil em 1966 pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza, adaptando-se à realidade brasileira. O estudo classificava os pavimentos em dois tipos: de tráfego leve ou pesado, com base em uma curva era possível chegar a espessura ideal para cada pavimento.

O Índice de Suporte Califórnia é um dos métodos mais aceitos para avaliar o modo que o solo se comporta, sendo nas camadas de fundação, ou nos componentes das camadas deste pavimento.

Segundo Balbo (2007), posto que o método do CBR em sua idealização tenha sido fundamentado em correlações empíricas, ainda nos últimos anos tem sido utilizado com frequência em diversos métodos variantes para o dimensionamento de pavimentos flexíveis, como é o caso do extinto método DNER (atual DNIT), um critério normativo oficial para projeto de pavimentos asfálticos.

2.5 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Posterior a uma determinação do CBR, inicia-se o processo de dimensionamento do pavimento flexível com base nos resultados obtidos a partir do ensaio. Pode-se definir como dimensionamento a determinação das espessuras das camadas estruturais de um pavimento; reforço do subleito, sub-base, base e revestimento (SENÇO, 2007).

“Relativamente aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural tomando por base os resultados obtidos nas pistas experimentais da AASHTO, com modificações julgadas oportunas. ” (DNIT, 2006, p. 142).

O pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido. O Dimensionamento se consolida em fatores de equivalência de operação entre eixos simples e em "tandem", com diferentes cargas e o eixo simples padrão com carga de 82 kN. Para a determinação do N de projeto, faz-se ainda consideração acerca de um fator de eixos e de um fator de carga, cuja função é homogeneizar a composição do tráfego.

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo está apresentado o detalhamento das atividades que serão desenvolvidas para a análise de viabilidade proposta no presente trabalho. A metodologia para elaboração do projeto foi dividida em três etapas listadas a seguir:

1. Determinação do Número N;
2. Retirada da Amostra para realização de Ensaio;
3. Propor dimensionamento;

Os itens a seguir discriminam cada uma das etapas de composição realizadas.

3.1 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO “N”

O pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido. O Número N é um destes parâmetros e está diretamente ligado à futura espessura das camadas adjacentes ao revestimento, uma vez que ele será o valor da solicitação dinâmica ocorrente no pavimento em questão.

Para sua determinação são necessárias algumas análises de dados de contagem volumétrica na via em questão. A equação que nos dá o valor do número N é a seguinte:

$$N = 365 * VMDa * FV * FD * FR$$

Onde:

- VMDa = Volume médio diário anual;
- FV = Fator de veículo;
- FD = Fator direcional;
- FR = Fator regional.

Será feito todos os cálculos dos parâmetros salientados acima, para obtenção do valor do número “N” neste presente trabalho.

3.1.1 Camadas estruturais do pavimento

De acordo com o DNIT (2006), o coeficiente de equivalência é uma constante que será determinado para cada camada do pavimento, que irá variar de acordo com o tipo de material e camada que adotada (Figura 16).

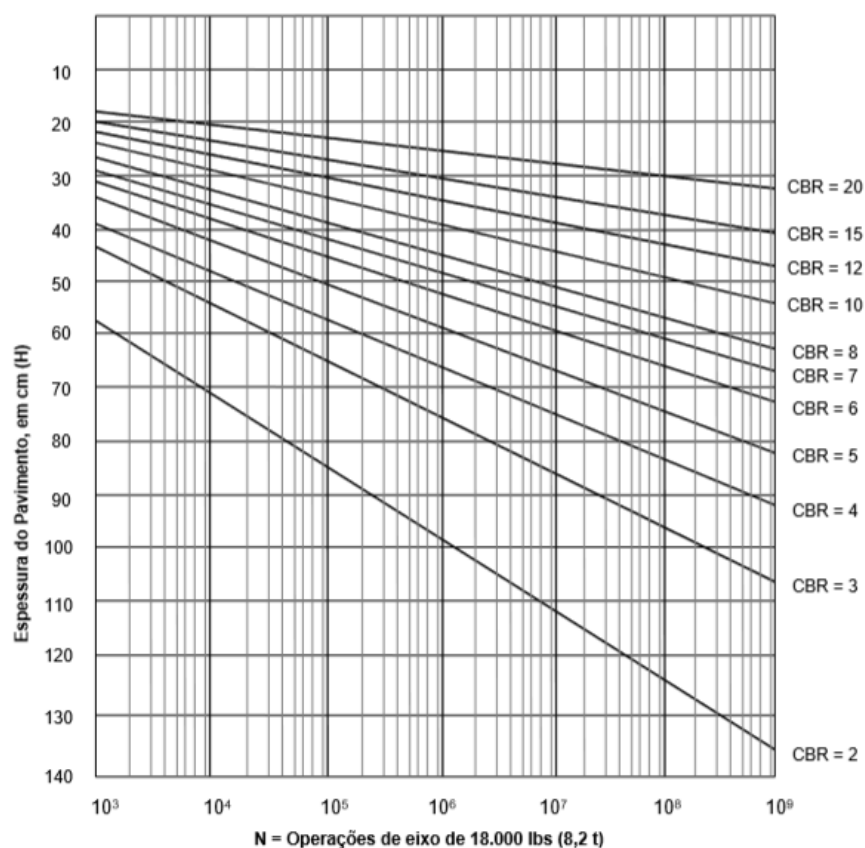
Figura 16: Coeficiente de Equivalência.

Componentes do pavimento	K
Base ou revestimento de concreto asfáltico	2,0
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa	1,4
Base ou revestimento asfáltico por penetração	1,2
Camadas granulares	1,0
Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias $> 45 \text{ kgf/cm}^2$	1,7
Idem, com resistência a compressão a 7 dias entre 45 e 28 kgf/cm^2	1,4
Idem, com resistência a compressão a 7 dias entre 28 e 21 kgf/cm^2	1,2
Bases de Solo-cal	1,2

Fonte: DNIT, 2006.

Após obter todos os dados descritos na figura 16, será iniciado o dimensionamento das camadas. O gráfico da figura 16 relaciona, para valores de CBR ou IS, valores de espessura com coeficiente de equivalência estrutural $k = 1,0$, com número de operações do eixo padrão.

- Número N + CBR correspondente $\rightarrow$ espessura da camada
- Espessura H_m = espessura total para um material com CBR = m
- Espessura h_n = espessura da camada com CBR = n

Figura 17: Gráfico de dimensionamento do método DNER

Fonte: DNER.

Para a espessura do revestimento é utilizada a figura 18, que relaciona o número N e a espessura mínima que deverá ser utilizada.

Figura 18: Relação entre o número N e as espessuras mínimas de revestimento.

N	Espessuras mínimas do revestimento
$N < 10^6$	Tratamentos superficiais
$10^6 < N < 5 \times 10^6$	Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N < 10^7$	Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N < 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT, 2006.

Uma vez determinadas as espessuras H_m , H_n e H_{20} pelo gráfico da figura 16 e R pela tabela de espessura mínima de revestimento, as espessuras da base (B),

sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n), são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações (DNIT, 2006):

- $R_{kR} + B_{kB} > H_{20}$ (1)
- $R_{kR} + B_{kB} + h_{20}k_S > H_n$ (2)
- $R_{kR} + B_{kB} + h_{20}k_S + h_nk_{Ref} > H_m$ (3)

B e R designam, respectivamente, as espessuras da base e do revestimento. Os coeficientes estruturais são designados por:

- Revestimento: k_R
- Base: k_B
- Sub-base: k_S
- Reforço: k_{Ref}

Características Mínimas para Materiais Granulares:

– Reforço do subleito:

- CBR maior que o do subleito;
- expansão $\leq 2\%$

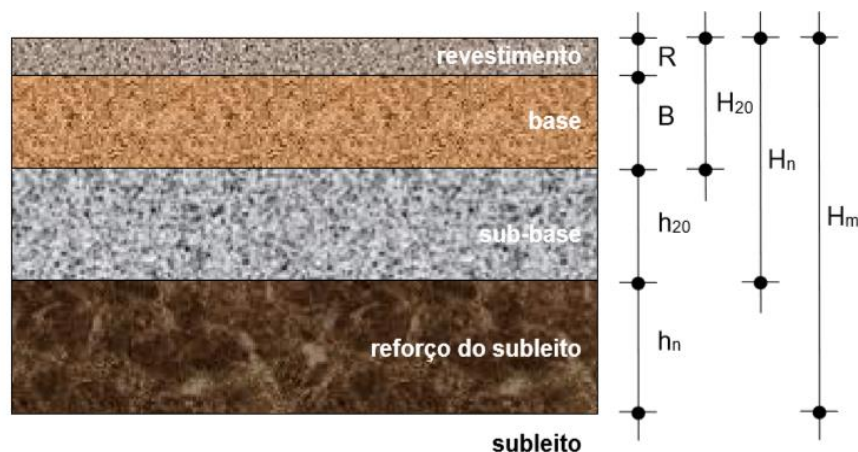
– Sub-base:

- CBR $\geq 20\%$
- expansão $\leq 1\%$

– Base:

- CBR $\geq 80\%$ (CBR $\geq 60\%$ para $N \leq 106$)
- Expansão $\leq 0,5\%$
- LL $\leq 25\%$
- IP $\leq 6\%$

Figura 19: Espessura das camadas e suas respectivas nomenclaturas.



Fonte: DNER (adaptado)

3.1.2 Umidade

De acordo com Senço (2007), chama-se teor de umidade ou simplesmente umidade de uma determinada massa de solo a relação entre massa de água contida nos vazios desse solo e a massa de solo seco.

$$H = m_a/m_s$$

Sendo:

H = teor de umidade

m_a = massa de água

m_s = massa de solo seco

Em porcentagem: h (%) = (m_a/ m_s) x 100%

Na determinação dos resultados deste ensaio, será necessário a utilização da secagem em estufa, mantem-se a temperatura entre 100° C e 110° C. Segundo Senço (2007), as etapas são as seguintes:

- Determina-se a massa de solo úmido (água contida no mesmo) em balança de precisão. A amostra úmida inserida em um recipiente adequado, e pesada na balança com aproximação geralmente de até 0,01g, obtendo-se a massa úmida mh subtraindo a tara do recipiente;
- Após o procedimento anterior, deixa-se a amostra secar em estufa por um período de 4h, após este período retira-se da estufa, a amostra dever ser

- resfriada em ambiente ávido de umidade – dessecador contendo cloreto de cálcio. Em seguida, determina-se a massa do solo seco, m_s ;
- c. Após o período de resfriamento, o conjunto é pesado, em seguida deve voltar para a estufa nas mesmas condições da etapa anterior.
 - d. Após 1 hora, o recipiente é retirado da estufa, inserido novamente em um dessecador e pesado. Havendo constância de peso, o resultado já se faz satisfatório, correspondendo a massa da amostra seca menos a tara do recipiente, m_s ;
 - e. Em caso de não constância de peso aferido na balança de precisão, repete-se o ciclo o quanto for necessário.
 - f. Cálculo de h ;

$$m_a = m_h - m_s$$

$$h (\%) = [(m_h - m_s) / m_s] \times 100\%$$

- g. Cálculo da massa de solo seco, m_s , fica:

$$m_s = (m_h - 100) / (100 + h)$$

3.1.3 Granulometria

De acordo com Senço (2007), a composição de um solo permite o conhecimento das porcentagens das partículas constituintes em função de suas dimensões, o que representa um elemento de grande valia para os estudos de comportamento desse solo, quer como elemento constituinte da fundação em que se apoia um pavimento, quer como constituinte das próprias camadas do pavimento.

Preparação das Amostras

Para o ensaio de determinação granulométrica solo, a amostra será submetida a alguns procedimentos iniciais, atendendo as exigências da norma DNER-EM 035/95.

- Homogeneizar a amostra remetida ao laboratório e reduzir à quantidade aproximada da massa seca a ser ensaiada, utilizando o quarteamento ou o repartidor de amostra.
- Secar a amostra em estufa até massa constante à temperatura de 110 ± 5 °C; esfriar à temperatura ambiente e determinar sua massa total.
- Selecionar a série de peneiras, previamente limpas, com aberturas de malha quadrada adequadas para fornecer as informações requeridas. Encaixar as peneiras em ordem crescente de abertura de malha da base para o topo e completar a série com fundo embaixo e com tampa em cima.
- Transferir a amostra, ou fração dela, para a peneira superior da série de peneiras, de forma que não haja formação de camada espessa sobre a malha de qualquer peneira.
- Para evitar a sobrecarga de material na malha da peneira deve-se adotar um dos seguintes procedimentos:

Inserir peneira adicional com abertura de malha intermediária entre a peneira com sobrecarga e a imediatamente superior a esta da sequência de peneiras; dividir a amostra em porções, peneirando cada uma individualmente; e usar peneiras tendo dimensões de caixilho maiores, correspondendo à área maior de peneiramento.

Peneiramento com agitador mecânico

- Transferir ao agitador a série de peneiras, munida de fundo e tampa, contendo a amostra e proceder ao seu peneiramento por um intervalo de tempo que permita a separação e classificação de seus grãos;
- Retirar a série de peneiras munida de fundo e tampa do agitador de peneiras e proceder ao peneiramento manual de cada peneira, empregando um segundo fundo e tampa, com movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal como no inclinado, por um minuto. Ao término deste período a massa passante em cada peneira deve ser inferior a 1 % em relação à massa retida, para um tempo de 1 minuto de agitação;

- Determinar a massa retida em cada peneira após a limpeza de sua malha com escova ou pincel. Os grãos removidos da parte interna da peneira devem ser considerados como retidos e da parte externa como passante;

3.2 PROPOR O DIMENSIONAMENTO

Estando as camas existentes de acordo com a solicitação, não havendo pequenos problemas na sua superfície de rodagem que esteja de alguma maneira infringindo a regra de que o pavimento precisa gerar um conforto para a sociedade. Após análises consoante aos ensaios propostos, do pavimento, onde será observado o estado do pavimento, indicando suas fissuras, fraturas, falhas e outros possíveis casos onde não esteja 100% perfeito. E decorrente a isso será proposto o plano de manutenção nas patologias em evidencia no local de estudo.

No caso de um pavimento flexível, há dois tipos de manutenção, de acordo com Silva (2008):

- **Preventiva** – como exemplo de manutenção preventiva pode-se citar a Selagem e Trinca, manutenção da drenagem e Camadas de Selamento (Micro revestimento a Frio, Lama Asfáltica, Tratamentos Superficiais, Selamento com areia ou com emulsão);
- **Corretiva** – como exemplo de manutenção corretiva pode-se citar o remendo e os Tratamentos Superficiais.

Presença anormal de água na superfície do pavimento pode indicar o problema com a drenagem do mesmo (que seja drenagem mal projetada, locada ou com sua superfície bloqueada).

4 RESULTADOS ESPERADOS

Embora não seja apresentado de modo explícito nos objetivos deste trabalho o propósito principal desta pesquisa é apresentar uma análise que seja relevante não apenas para a ITPAC, mas para Empresa Fertilizantes Tocantins, instalada no município de Porto Nacional.

5 CRONOGRAMA

Tabela 1 – Cronograma de Atividades

Item	Atividade	Fevereiro				Março				Abril			
		Semanas				Semanas				Semanas			
		1 a	2 a	3 a	4 a	1 a	2 a	3 a	4 a	1 a	2 a	3 a	4 a
1	Estudo prévio			X									
2	Escolha do Tema					X							
3	Definição dos Objetivos						X	X					
4	Definição da Metodologia											X	X
Item	Atividade	Agosto				Setembro				Outubro			
		Semanas				Semanas				Semanas			
		1 a	2 a	3 a	4 a	1 a	2 a	3 a	4 a	1 a	2 a	3 a	4 a
5	Composição do Referencial Bibliográfico	--	--										
6	Coleta de Dados					--	--						
7	Sintetização dos Dados							--	--				
8	Análise dos Resultados									--	--		
9	Redação do Trabalho Final										--		
10	Defesa do Trabalho final											--	--

LEGENDA	
X	Atividades Realizadas
--	Atividades em Andamento

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGELA GRAEFF. Prime Engenharia e Consultoria Ltda. **Métodos de Dimensionamento de Pavimentos:** Metodologias e seus impactos nos Projetos de Pavimentos Novos e Restaurações. 090007. ed. Porto Alegre: Prime, 2009. 93 p.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica:** materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica** – formação básica para engenheiros. 3ª ed. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação.** 3ª ed. Rio de Janeiro: IPR. Publ., 719, 2006.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação: Volume 1.** 2. ed. São Paulo: Pini Ltda, 2007. 758 p.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação: Volume 2.** São Paulo: Pini Ltda, 2001. 671 p.

SILVA, Bianca Oliveira Santo da; RODRIGUES, Felipe Lima; SILVA, Luiz Fernanda da. Importância da Determinação do Índice de Suporte Califórnia (CBR) na Execução de Pavimentos Flexíveis. In: XIV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP, 14., 2017, Guarujá. **Anais...** Guarujá: UNAERP, 2017. p. 1 - 7.

SILVA, Paulo Fernando Araujo da. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos.** 2. ed. Sao Paulo: Pini Ltda, 2008.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis.** 3. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: IPR. Publ., 667, 1981.