



DANIELE SOUZA SANTOS

ESTUDO DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Santa Barbara D'Oeste/SP
2019

DANIELE SOUZA SANTOS

ESTUDO DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Anhanguera como requisito parcial para a obtenção do título de graduado Engenharia Civil.

Orientador:

DANIELE SOUZA SANTOS

ESTUDO DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Anhanguera como requisito parcial para a obtenção do título de graduado Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Professor(a)

Professor(a)

2019.

Dedico este trabalho a todos meus
professores.

SANTOS, Daniele S. **ESTUDO DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**. 2019. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Anhanguera, Santa Barbara D'Oeste/SP, 2019.

RESUMO

Compreende-se como pavimentação um revestimento instalado e tratado de maneira a suportar os constantes esforços e compressões, provocadas em sua estrutura pelo trânsito de diversos veículos de deslocamento terrestre. Esse estudo objetivou descrever os modelos de pavimentação, entre rígida e flexível, identificando suas particularidades que devem ser consideradas para projeto e execução, tendo em vista suas vantagens e desvantagens. Para tal, realizou-se uma revisão de literatura, afim de contrapor os conhecimentos estabelecidos sobre a temática. Utilizou-se busca de arquivos em bancos de dados *online*, tais como, *google* acadêmico e SciElo, parametrizando arquivos publicados nos últimos 15 anos. Foi desenvolvido um estudo relacionado a história dos pavimentos no contexto nacional, seus aspectos construtivos, e a análise comparativa entre os modelos, ponderando entre os fatores de composição, drenagem, segurança e sustentabilidade. Concluiu-se com o estudo que o excesso de carga compromete a durabilidade do pavimento, comprometendo as diretrizes determinadas nos projetos de dimensionamento e implementação.

Palavras-chave: Patologias em Pavimentos; Balanças de Pesagem; Infraestrutura Rodoviária

SANTOS, Daniele S. **ESTUDO DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**. 2019. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Anhanguera, Santa Barbara D'Oeste/SP, 2019.

ABSTRACT

It is understood as paving a coating installed and treated in order to withstand the constant efforts and compressions, caused in its structure by the transit of several vehicles of terrestrial displacement. This study aimed to describe the paving models, between rigid and flexible, identifying their particularities that should be considered for design and execution, considering their advantages and disadvantages. For this, a review of the literature was done, in order to counter the established knowledge on the subject. It used search of files in databases online, such as, google academic and SciElo, parameterizing files published in the last 15 years. A study was carried out on the history of pavements in the national context, its constructive aspects, and the comparative analysis between the models, weighting between the composition, drainage, safety and sustainability factors. It was concluded with the study that the excess load compromises the durability of the pavement, compromising the determined guidelines in the design and implementation projects.

Keywords: Pathologies in Pavements; Weighing Scales; Road Infrastructure

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Extensão da malha rodoviária.	10
Figura 2 – Evolução da condição da superfície do pavimento em rodovias federais públicas (em Km)	12
Figura 3 – Seção transversal do pavimento flexível.....	17
Figura 4 – Etapas do processo executivo de revestimento de CBUQ.....	18
Figura 5 – Seção transversal do pavimento rígido.....	20
Figura 6 – Comparativo pavimento rígido e flexível	21
Figura 7 – Análise teórica de custos.....	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. PAVIMENTAÇÃO.....	9
2.1 HISTORICO DO SURGIMENTO DOS PAVIMETOS	9
2.2 PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL.....	10
3 PROCESSO CONTRUTIVO.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.1 ESTRUTURAS DOS PAVIMENTOS.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.2 PAVIMENTO FLEXIVEL.....	17
3.3 PAVIMENTO RIGIDO.....	19
4 ANÁLISE COMPARATIVA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL E PAVIEMENTO RIGIDO.....	21
4.1 CUSTO.....	21
4.2 MANUTENÇÃO.....	22
4.3 MATERIAIS DA SUA COMPOSIÇÃO E DRENAGEM DAS VIAS.....	23
4.4 SEGURANÇA QUANTO A DERRAPAGEM.....	23
4.5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTAVEL.....	24
4.6 LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....	24
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

As rodovias brasileiras são pontos de interligação entre regiões sendo de grande relevância para o desenvolvimento do País, em nível social, com a locomoção das pessoas; e em nível econômico, com o transporte de mercadorias. Devido a necessidade de deslocar-se o tempo todo é fundamental que as vias de transporte rodoviário apresentem uma boa qualidade.

O desgaste das vias de transporte misto e rodovias sofrem um processo natural de envelhecimento e desgaste, no qual está associado ao tráfego e ao intemperismo. A deterioração dos pavimentos, geram transtornos à população. Para amenizar a situação caótica das vias, a maioria das vezes são executados serviços sem planejamento técnico adequado, erros de projeto (ou simplesmente a falta deles) em função do desconhecimento técnico dos órgãos públicos responsáveis, falhas primárias de execução por desleixo e falta de responsabilidade e comprometimento das empresas responsáveis pelas obras; o resultado final gera retrabalho e prejuízos financeiros.

Diante dessa situação, é essencial repensar a forma com quem as obras de pavimentação e recapeamento são realizadas em todo o Brasil. É imprescindível que o serviço seja de qualidade, tanto no projeto quanto na execução. Contudo a manutenção de uma rodovia impacta números exorbitantes de custos. Devido a isso, a adoção de um tipo de pavimento a ser utilizado na pavimentação rodoviária, é de fundamental importância analisar as características técnicas de cada pavimento. Com isso, esse trabalho tem como importância a análise comparativa entre o pavimento flexível e o pavimento rígido, relacionando a características de construção, de manutenção, de comportamento, de segurança e de sustentabilidade.

A inserção de um pavimento adequado e de qualidade é relevante para garantir segurança e eficiência no propósito de interligação das regiões. Contudo em quais situações a implantação do Pavimento Rígido é mais viável transitoriamente e economicamente que o Pavimento Flexível?

O objetivo desta pesquisa foi descrever o tipo de pavimentação mais favorável para a construção ou adequação das vias urbanas e rodovias, ter conhecimento das vantagens e desvantagens dos pavimentos flexíveis e rígidos, levando em consideração cada processo de execução, analisando sua viabilidade técnica. Como

objetivos específicos, destaca-se: Apontar o contexto histórico e características da pavimentação; descrever o processo construtivo dos pavimentos, e suas características técnicas; destacar as características de cada tipo de pavimento em específico por base de uma comparação teórica.

O tipo de pesquisa realizado neste trabalho foi uma Revisão de Literatura, na qual foi realizada consulta a livros, dissertações e em artigos científicos selecionados através de busca nos seguintes base de dados Google acadêmico, Portal Scielo, Capes, Bibliotecas virtuais. O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos *dez* anos. As palavras-chave utilizadas na busca foram: “PAVIMENTAÇÃO”, “CONSTRUÇÃO CIVIL” e “PLANEJAMENTO”.

2 PAVIMENTAÇÃO

Superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentadas sobre um espaço considerado teoricamente como infinito (infraestrutura ou terreno de fundação) a qual é designada de subleito (DNIT, 2004).

Danieleski (2004) retrata que a Norma Brasileira de Pavimentação, NBR 72/1982 define pavimento como:

[...] 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.

Segundo Bernucci et al. (2006, p 25) pavimento é:

[...] uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Os pavimentos são projetados para suportar cargas do tráfego, com conforto e segurança, segundo o Manual de pavimentação do DNIT (2004), pavimento é uma estrutura construída após a terraplenagem, com a função de resistir e distribuir aos esforços horizontais que atuam no revestimento as demais camadas, e adequar as faixas de rolamento visando a comodidade e segurança.

2.1 HISTÓRICO DO SURGIMENTO DOS PAVIMENTOS

Até o início da década de 50 era intensa em nosso país a utilização do concreto de cimento Portland na pavimentação, em vias urbanas, pistas de aeroportos, e em rodovias. A partir do término da Segunda Guerra Mundial, a produção nacional de cimento foi designado preferencialmente ao suprimento de necessidades fundamentais da indústria da construção civil, o que conduziu os setores de pavimentação a lançar-se em empreendimentos que não dependessem maciçamente desse produto; na mesma época desenvolve-se nos EUA, e rapidamente absorvida pelos órgãos brasileiros ligados ao ramo rodoviário, extensa tecnologia de pavimentos flexíveis à base de produtos betuminosos, em detrimento dos cimentados. Os preços dos

derivados de petróleo, por seu turno, eram muitos baixos e, por isso, muito convidativos (ANANIAS; OLIVEIRA; MEAN, 2016).

2.2 PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL

As rodovias são pontos de interseção entre as pessoas e as cargas que possuem necessidade de se deslocar o tempo todo e por isso é essencial uma excelente infraestrutura e qualidade dos pavimentos. Segundo Ananias, Oliveira e Mean (2016), aproximadamente 61,1% do transporte de cargas realizado no Brasil é rodoviário. Já o modal ferroviário responde por 20,7%, o aquaviário por 13,6%, o dutoviário por 4,2% e o aéreo por menos de 1%.

Apesar da importância do modal rodoviário para a economia brasileira, a malha pavimentada ainda é muito pequena quando comparada à extensão total de rodovias (Figura 1).

Figura 1 - Extensão da malha rodoviária



Fonte: CNT, 2016.

Um estudo realizado em 2013, pela CNT, sobre a qualidade das rodovias brasileiras, apontou um dado alarmante: 63,8% das rodovias federais e estaduais pavimentadas identificaram algum tipo de comprometimento no pavimento, na sinalização ou na geometria da via (ANANIAS; OLIVEIRA; MEAN, 2016).

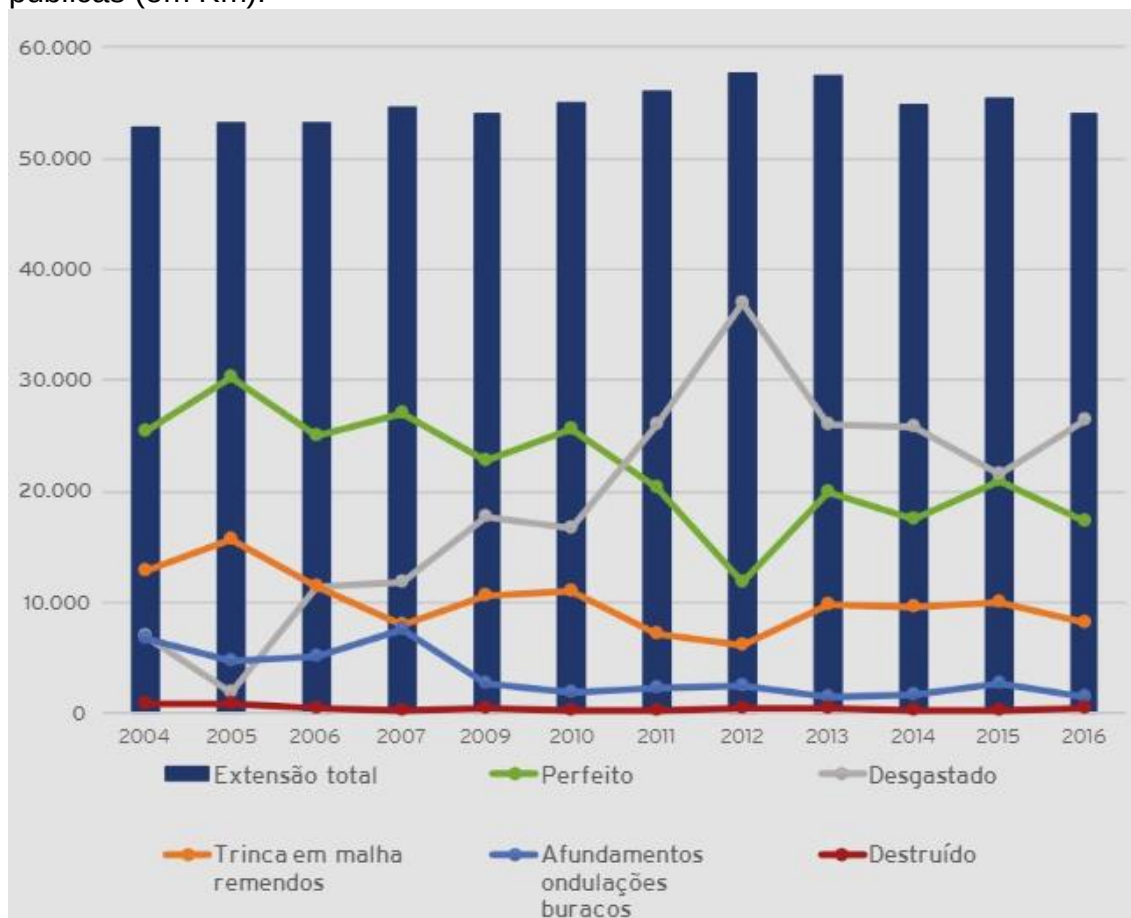
A escassez de recursos a serem investidos no ofício de manutenção e reabilitação de pavimentos reflete-se no estado superficial dos pavimentos: graves rachaduras, buracos, grandes deformações permanentes, entre outros defeitos.

Conforme a Associação Norte-Americana de Especialistas Rodoviários e de Transporte (AASHTO), a manutenção de uma rodovia em condições adequadas gera menos custos que a recuperação de uma rodovia em péssimas condições (AASHTO, 2009). Assim, Colares (2011, p. 100) analisa que:

Rodovias em situação de boa qualidade custam menos aos cofres públicos e, por isso, deve-se buscar a reabilitação das condições do revestimento do pavimento antes que os danos se propaguem para além da camada de revestimento e sejam necessários trabalhos de recuperação estrutural.

Entre as principais contribuições que afetam negativamente a situação das rodovias brasileiras, nota-se a elevação considerável do tráfego nos últimos anos. De acordo com o levantamento do Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças), aproximadamente 38 milhões de carros comerciais leves, caminhões e ônibus percorreram as ruas e estradas do país em 2012. Nota-se que houve um crescimento de 8,1% em relação ao ano anterior. Ademais, o estudo evidenciou o número de tratores e motocicletas circulantes em 2012: 618 mil e 12,4 milhões, respectivamente. O que mostra um aumento de 5,4% e 6,4% em relação a 2011. Tal crescimento no volume de tráfego e veículos de carga vão além dos índices de desenvolvimento previstos na ocasião do dimensionamento das estruturas, o que pode acarretar diversos problemas no pavimento como é demonstrado na Figura 2 (ANANIAS; OLIVEIRA; MEAN, 2016).

Figura 2 - Evolução da condição da superfície do pavimento em rodovias federais públicas (em Km).



Nota: A Pesquisa CNT de Rodovias não foi realizada no ano de 2008.

Fonte: Elaborado pela CNT.

No que diz respeito às rodovias pavimentadas brasileiras, cerca de 58% estão em situação regular, ruim ou péssima. Tal cenário indica que dos 210.200 km pavimentados, aproximadamente 121.800km precisam de recuperação imediata.

Em 2006, foi realizado pelo DNIT o Programa Emergencial de Trafegabilidade e Segurança nas Estradas (PETSE), conhecido popularmente como operação "tapa-buraco", que consistiu em uma ação emergencial para recuperação de quase 25 mil quilômetros de rodovias pavimentadas que apresentavam condições críticas de trafegabilidade, contemplando serviços de tapa-buracos, recuperação de pavimentos, recuperação de obras de arte e recuperação de sinalização (PEREIRA, 2016).

Nesse viés, nota-se que as únicas obras que não possuíam seu ritmo afetado foram as concessões privadas. A fim de que o Brasil busque o crescimento novamente é importante que se conceda à iniciativa privada as grandes obras de infraestruturas.

Isso porque, para o Brasil, é evidente que o modelo mais apropriado é o de concessões visto que tende a colocar os projetos em prática e reduzir o déficit infraestrutural presente. Desse modo, afirma-se que realizar obras por intermédio da gestão pública brasileira é uma alternativa inviável no país.

Os números evidenciam o atraso em que o Brasil se encontra. Nesse sentido, um dos motivos que levou o país a uma crise econômica foi justamente a ausência de capacidade governamental de incentivar projetos de infraestrutura. Ademais, ressalta-se que além da infraestrutura viária em más condições, ainda há o problema da ausência de projetos em ferrovias, hidrovias e de modernização dos portos e aeroportos. No que se trata das rodovias, verifica-se os diversos atrasos de projetos e de execução. No ano de 2015 umas consideráveis parcelas de obras públicas tiveram seu ritmo reduzido ou simplesmente pararam de funcionar em razão da ausência de pagamento por parte do governo federal (BALBO, 2007).

A seção de pavimentação configura-se por ser comumente gerenciada pela administração pública, e necessita de investimentos mais amplos, tanto na construção de novos pavimentos quanto na recuperação de partes que precisam de intervenção urgente. Dessa maneira, é importante buscar soluções que gerem pavimentos mais resistentes, com maior durabilidade e que necessitem de manutenções menores no decorrer do tempo para o qual foram pensados. Nesse viés, ressalta-se que rodovias com a qualidade adequada propiciam um retorno financeiro para a sociedade por meio da recuperação e manutenção da malha ou pela mitigação do número de acidentes (COLARES, 2011).

3 PROCESSO CONTRUTIVO

Os materiais devem apresentar boa resistência, pouca deformação e permeabilidade adequada à função da camada da estrutura do pavimento em que serão empregados. Os materiais são compostos basicamente por agregados, solos e ligantes.

Os agregados são materiais inertes, granulares e que não possuem forma e nem dimensão definidas. Eles apresentam propriedades adequadas para compor camadas ou misturas a serem utilizadas nos mais diversos tipos de obras. Nas misturas para composição das camadas dos pavimentos, os agregados representam o maior volume em relação aos demais componentes, devendo possuir diversas propriedades adequadas quanto à durabilidade, resistência, adesividade ao ligante, entre outros. Eles podem ser classificados quanto à origem (naturais ou artificiais), composição mineralógica, forma e granulometria, e podem ser britados ou não. São exemplos de agregados as britas e concreto (AASHTO, 2009).

Os solos possuem importância dupla no estudo da pavimentação, uma vez que não existe pavimento sem fundação, ou seja, sem subleito, e ainda há a possibilidade de empregos de solos nas demais camadas do pavimento. A Engenharia Civil, define solo como qualquer depósito solto ou fofo, resultante do intemperismo, da degradação de rochas ou da decomposição de vegetais. Exemplos: sedimentos (pedregulhos, areias ou argilas), as turfas, os depósitos calcários (areias de conchas e corais) e os depósitos piroclásticos resultantes de erupções e lavas vulcânicas (BALBO, 2017).

Os ligantes por sua vez, proporcionam união entre os agregados, permitindo uma flexibilização controlável do material empregado no pavimento. Podem ser classificados em asfálticos ou hidráulicos (AASHTO, 2009).

Ao ligante asfáltico, são empregados em três conceituações distintas (ANANIAS; OLIVEIRA; MEAN, 2016):

- Betume: é uma mistura de hidrocarbonetos pesados, com propriedades ligantes, inflamável, de elevada viscosidade, que ocorrem na natureza ou são fabricados pela destilação do petróleo, de carvão, de madeira ou de resinas;

- Asfalto: mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo por destilação ou de forma natural cujo principal componente é o betume, mas pode conter oxigênio, nitrogênio e enxofre em pequena proporção;
- Alcatrão: designação genérica de um produto que contém hidrocarbonetos, obtidos a partir da queima ou destilação do carvão, também constituído por betume.

Portanto, tanto os asfaltos quanto a alcatrão são materiais betuminosos, pois contêm betume em sua composição. Entretanto, eles não devem ser confundidos, uma vez que apresentam propriedades distintas.

3.1 ESTRUTURAS DOS PAVIMENTOS

A estrutura do pavimento tem a função de receber os esforços oriundos do tráfego e transmitidos para as camadas inferiores de forma aliviada, uma vez que essas são geralmente menos resistentes. Assim, as cargas são transmitidas de forma criteriosa a fim de impedir que ocorram no pavimento deformações ou mesmo rupturas incompatíveis com a utilização da rodovia, induzindo a um comportamento mecânico inadequado e a uma degradação prematura (ANANIAS; OLIVEIRA; MEAN, 2016).

Sob a ótica de Balbo (2007), cada faixa do pavimento compreende uma ou mais funções específicas, que precisam possibilitar aos veículos, em qualquer ação climática, boas condições de rolamento e suporte.

A NBR 7207/82 garante que o pavimento é feito por quatro camadas: subleito, sub-base, base e revestimento, cujos conceitos são:

Subleito é o terreno de fundação do pavimento ou do revestimento. Quando necessário, faz-se um reforço do subleito. É a camada responsável por absorver definitivamente os esforços verticais causados pelo tráfego e é constituída de material natural consolidado e compactado (DANIELESKI, 2004).

Deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego (de 60 a 1,50 m de profundidade) (DNIT trabalha com 1,0m) (DNIT, 2004).

Se o CBR do subleito for $<2\%$, ele deve ser substituído por um material melhor, (2% CBR20) até pelo menos 1,00 metro. Se o CBR do material do subleito for 20% , pode ser usado como sub-base. CBR 2% e Expansão 2% (DNIT, 2004).

Reforço do subleito é executado no caso de estruturas espessas, devido a fundação de baixa qualidade ou ao tráfego de cargas muito pesadas, ou ainda, uma combinação desses fatores. Em qualquer caso, o material utilizado nessa camada deve atender as condições mínimas de qualidade, possuindo características técnicas superiores ao material do subleito e inferiores ao material que vier na camada superior (HASNI, 2017).

Define-se como sub-base a camada corretiva do subleito, ou complementar à base, em ocasiões que não seja prudente erguer o pavimento de modo direto sobre o leito. Os materiais que devem ser utilizados como sub-base são o Cascalho, Solo-Cal, Solo-Cimento (ANANIAS; OLIVEIRA; MEAN, 2016).

Exerce função de complemento da base, portanto tem a função de resistir e distribuir os esforços verticais provenientes da ação do tráfego. Além disso, quando necessário, tem a função de drenar infiltrações e controlar a ascensão capilar da água.

Conceitua-se como base a camada que objetiva o alívio da tensão nas camadas inferiores, possibilita a drenagem das águas que se infiltram no pavimento (através de drenos) e resiste às tensões e deformações atuantes. A tensão máxima de cisalhamento é verificada na base, por isso ela deve constituir-se de material de ótima qualidade e ser adequadamente elaborada. Segundo Silva (2005), os materiais que podem ser utilizados como base são Brita Graduada Simples (BGS), Concreto Compactado a Rolo (CCR), Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), Macadames Hidráulico e Seco, Solo-Cal, Solo-Cimento e Solo-Brita.

A caracterização do revestimento é feita pela camada que recebe de maneira direta o rolamento dos veículos, possui finalidade econômica e também de elevar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; além de resistir aos esforços que nele atuam, possibilitando maior durabilidade à superfície de rolamento. Ademais, Bernucci et al. (2006) analisam que “[...]essa camada deve ser tanto quanto impermeável e resistente aos esforços de contato pneu-pavimento em movimento, que são variados conforme a carga e a velocidade dos veículos. ”

Essa camada pode ser constituída por: pedras cortadas justapostas, paralelepípedos, blocos pré-moldados de concreto, placas de concreto, concreto compactado com rolo, tratamentos superficiais betuminosos e misturas asfálticas em geral. Sua execução deve ser feita sobre base compactada e imprimada (BALBO, 2007).

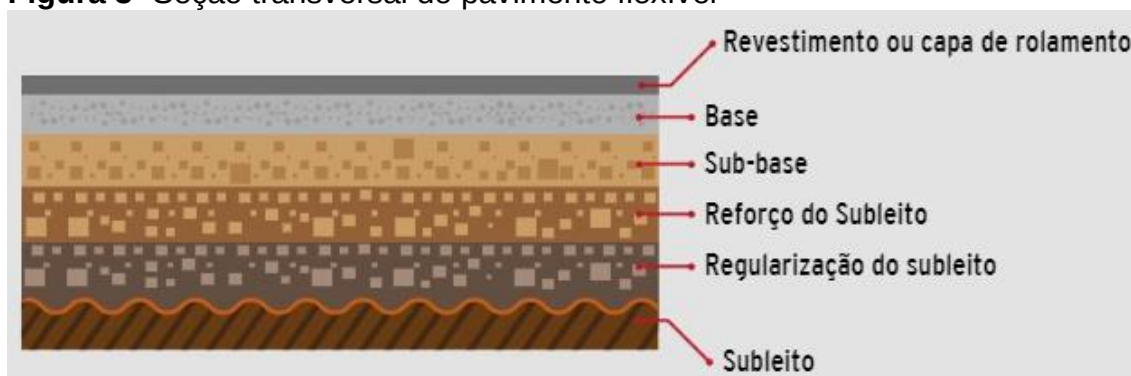
A necessidade de cada camada e o dimensionamento delas podem variar de acordo com as condições do subleito, as condições climáticas e ambientais, as características de tráfego e as propriedades dos materiais empregados.

No que concerne a classificação do pavimento rodoviário, Bernucci et al. (2006) segmenta-o em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. Na atualidade existe uma inclinação de utilizarem as nomenclaturas pavimentos de Concreto de Cimento Portland e pavimentos asfálticos, respectivamente, para citar a classe de revestimento do pavimento.

3.2 PAVIMENTO FLEXÍVEL

É aquele em que todas as faixas sofrem deformação elástica considerável sob o carregamento aplicado e, por isso, a carga se divide em parcelas equivalentes entre as camadas (ANANIAS; OLIVEIRA; MEAN, 2016).

Figura 3 -Seção transversal do pavimento flexível



Fonte: HASNI, (2017)

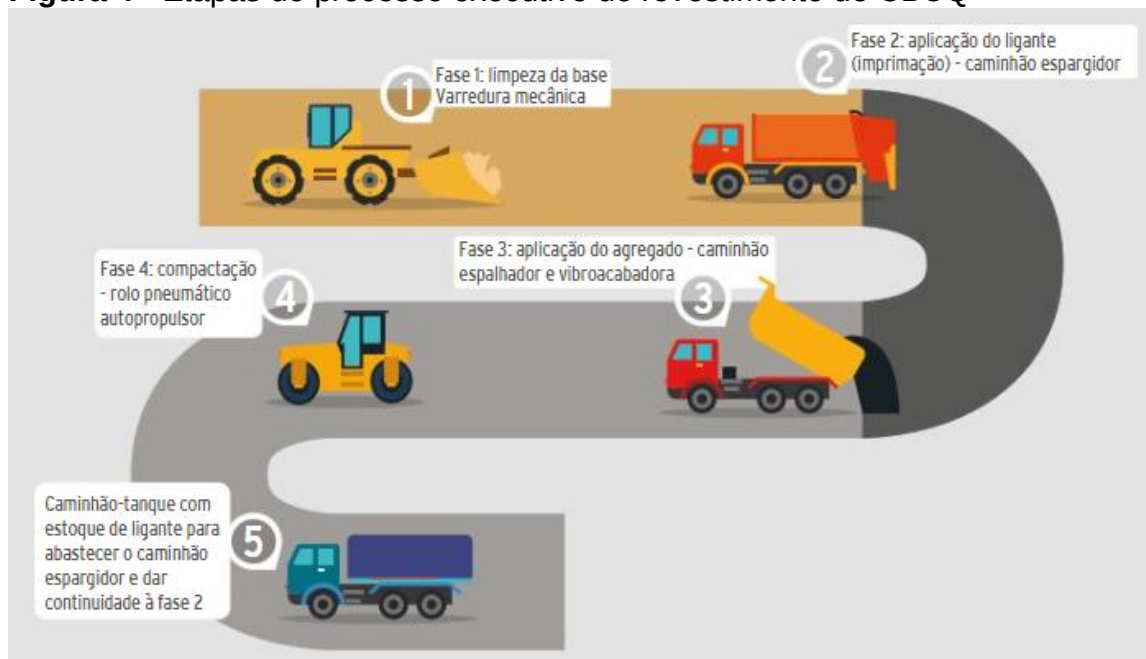
Os pavimentos flexíveis são assim caracterizados por serem compostos por diversas camadas, sendo que todas sofrem modificações elásticas consideráveis. Desse modo, a carga oriunda do tráfego se fraciona de maneira aproximadamente equivalente entre elas, o que possibilita analisar um campo de tensões altamente concentrado nas proximidades do ponto de aplicação da carga. Tal fato obriga que as camadas do pavimento sejam mais espessas com o intuito de promover a segurança do subleito do pavimento (BERNUCCI, 2006).

Para cada tipo de base, sub-base e revestimento há um processo especial de execução. O processo executivo do revestimento geralmente visto nas rodovias brasileiras, o de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), denominado também de concreto asfáltico (CA) (DANIELESKI, 2004).

O CBUQ é o mais nobre dos revestimentos flexíveis. É a mistura de agregados feita em usina seguindo rigorosas especificações. A execução desse revestimento é o serviço que requer mais acurado controle dentre os que compõem as etapas de pavimentação (DNIT, 2004).

A base sobre a qual é aplicado o CBUQ deve estar imprimada, sem crateras ou depressões. A aplicação do CBUQ é feita por uma vibroacabadora, máquina que promove o espalhamento da massa na espessura e largura desejada executa parte do trabalho de compactação. Imediatamente após a distribuição da massa, inicia-se a operação de rolagem para compactação final da camada como demonstrado na Figura 4 (HASNI, 2017).

Figura 4 - Etapas do processo executivo de revestimento de CBUQ



Fonte: HASNI, (2017)

Verifica-se que o asfalto é um material complexo, de acordo com a sua composição e também de seu comportamento. Nesse sentido, nota-se que ele possui comportamento viscoso, marcado pela diminuição da rigidez sob longos períodos de carregamento ou elevadas temperaturas e comportamento elástico em variadas ocasiões. No período de uso do pavimento, o asfalto exibe uma parcela viscosa e uma parcela elástica dependendo das solicitações do tráfego (HASNI, 2017).

Desse modo, salienta-se que os asfaltos constituem-se como materiais termoplásticos, possuem sua consistência dependente da temperatura. Essas

convicções, já normais para ligantes, também se aplicam às misturas asfálticas, contudo no Brasil tais considerações afetam de maneira direta o projeto de misturas e de pavimentos (SILVA, 2005).

3.3 PAVIMENTO RÍGIDO

Caracteriza-se por ser o revestimento de grande rigidez quando comparado às camadas inferiores e, por isso, absorve quase todas as tensões oriundas do carregamento aplicado (DNIT, 2004).

Na totalidade da malha rodoviária brasileira a aplicabilidade do pavimento de concreto ainda é reduzida em comparação ao pavimento flexível predominante em todas as rodovias do país. Todavia, seu uso está em expansão, o que tende a propiciar a população as vantagens trazidas pela utilização do pavimento de concreto (ANANIAS, OLIVEIRA, MEAN, 2011, p.4).

Para Colares (2011), devido a camada de revestimento absorver praticamente todos os esforços, esse tipo de pavimento possui um número menor de camadas em comparação como pavimento flexível. A sub-base desse tipo de pavimento é geralmente constituída por misturas granulares estabilizadas granulometricamente ou quimicamente por aditivos (cimento, cal ou betume). A base e o revestimento atuam como uma única camada, constituída por concreto de cimento, e pode ser classificada em alguns tipos (Figura 5).

Figura 5- Seção transversal do pavimento rígido



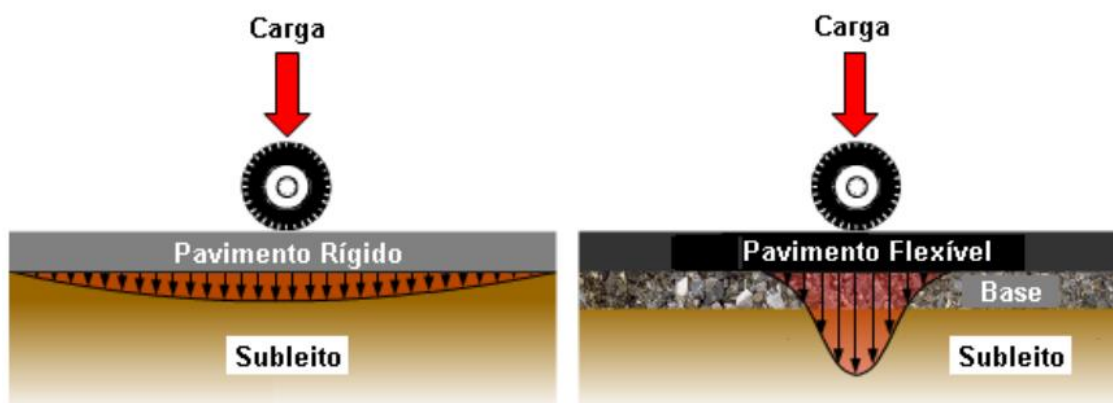
Fonte: HASNI, (2017)

Apesar de o pavimento rígido estar ligado ao concreto de cimento Portland, sendo um revestimento constituído por placas de concreto que podem ser armadas ou não com barras de aço, apoiada comumente sobre uma sub-base de material granular ou de material estabilizado com cimento. A espessura é fixada de acordo com a resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes (GEHWER, 2017.p.1). O cimento é um produto encontrado facilmente e por isso a pavimentação, manutenção e conservação das rodovias possuem custos reduzidos. O pavimento de concreto atualmente é aceito como um mitigador de acidentes rodoviários, já que não possui a capacidade de deformar, e por isso não surpreende o motorista no trajeto.

4 ANÁLISE COMPARATIVA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL E PAVIMENTO RÍGIDO

De acordo com Bernucci (2006), a principal diferença entre os pavimentos flexível e rígido é a distribuição de tensões nas camadas subjacentes (Figura 6).

Figura 6: Comparativo pavimento rígido e flexível



Fonte: HASNI, (2017)

- Pavimento flexível: funciona como camada de rolamento, e quem absorve os esforços devido ao tráfego é a fundação. Estrutura mais espessa com camadas múltiplas (BALBO, 2017).
- Pavimento rígido: a camada de rolamento também funciona como estrutura, redistribuindo os esforços e diminuindo a tensão imposta à fundação. Menos camadas, conseqüentemente menor espessura (BALBO, 2017).

4.1CUSTO

É certo que há uma diversidade substancial entre os dois tipos de pavimentação, representado pelo aspecto econômico. Nesse sentido, nota-se que a pavimentação asfáltica custa, em média, R\$ 1 milhão por quilômetro, já a pavimentação de concreto possui o valor de R\$ 1,3 milhão por quilômetro, aproximadamente. O custo inicial do concreto, conforme os especialistas, é recuperado em longo prazo, tendo em vista que a vida útil do pavimento de concreto é de, no mínimo, 20 anos. Enquanto o asfalto se mantém, sem intervenção, por um período de dez anos (Figura 7) (BALBO, 2017).

Figura 7: Analise teórica de custos



Fonte: Balbo, (2017)

Contudo, em uma breve análise realizada pela Associação Brasileira de Pavimentação, os valores e gastos relacionados a manutenção do concreto são baixos, dentro de 20 anos o custo com o tipo de pavimentação pode ficar um valor 60% abaixo ao gasto com a implantação do asfalto.

É importante mensurar que outra qualidade que é apontada pela associação é o fato do concreto esquentar menos, o que no Brasil, por ser um país de clima tropical, é muito vantajoso. Além disso, por ser mais claro, o concreto reflete melhor a luz – o que gera economia com energia elétrica (BERNUCCI, 2006).

O asfalto é mais usado, contudo, por permitir mais união dos materiais agregados, como as combinações do asfalto com a borracha de pneus moídos, além de permitir a reutilização de diversos materiais por meio da reciclagem (DANIELESKI, 2004).

4.2 MANUTENÇÃO

O pavimento rígido em concreto também sofrerá menos intervenções de manutenção ao longo de sua vida útil (BALBO, 2017. p.20). O pavimento rígido, desde que bem construído, apresenta menor manutenção, apesar de maior custo inicial, porém não aceita reparos, havendo necessidade de reconstrução total. Já o pavimento flexível requer manutenção – reabilitação – do revestimento em períodos que variam de 5 a 10 anos, tempo relacionado à oxidação do ligante – asfalto.

As características durabilidade e resistência são os principais benefícios dos pavimentos rígidos. Isso porque, enquanto os pavimentos flexíveis são elaborados para ter uma vida útil de cerca de dez anos, os pavimentos de concreto existem para

operar por volta de 30 anos necessitando de manutenções mínimas durante esse período (HASNI, 2017).

Desse modo, estabelecer a definição do momento em que se realizam necessárias alterações nos Pavimentos Flexíveis objetivando o aumento do seu ciclo de vida implica em analisar o desempenho de estruturas de pavimentos que foram implantadas na área e seu comportamento em relação às tensões e deformações advindas das condições climáticas, modificações oriundas das características do nível de tráfego, etc. (RODRIGUES FILHO, 2003).

4.3 MATERIAIS DA SUA COMPOSIÇÃO E DRENAGEM DAS VIAS

Flexível: O asfalto é derivado do petróleo, normalmente misturado a quente, consumindo combustível. Suscetíveis a alterações químicas irreversíveis. O pavimento flexível tem a capacidade de absorver a umidade com rapidez e, por a sua textura superficial, retém a água, o que requer maiores caimentos (inclinação lateral) (COLARES, 2011).

Rígido: O concreto é feito de materiais locais, misturado à frio, consumindo, geralmente, energia elétrica. Pouco suscetíveis a reações químicas e à contaminação. O pavimento rígido apresenta melhores características de drenagem superficial: escoar melhor a água superficial (BALBO, 2017).

4.4 SEGURANÇA QUANTO A DERRAPAGEM

O pavimento rígido fornece boa aderência ao pneu, devido a textura dada a superfície (veículo precisa de 16% menos de distância de frenagem em superfície seca, em superfície molhada 40%). O pavimento de concreto já é aceito como um redutor de acidentes rodoviários. Uma das razões é que, por não se deformar, ele não surpreende o motorista durante um trajeto. Nele se trafega com muito mais segurança. Sem contar que em dias de chuva o concreto não gera aquaplanagem e tem um *grip* (aderência do pneu com o pavimento) muito bom. Outro detalhe: em viagens noturnas, por possuir uma coloração mais clara, apresenta melhor capacidade de difusão de luz (refletividade). Ao contrário do pavimento flexível, ao qual, apresenta superfície escorregadia quando molhada (DNIT, 2004).

4.5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

As rodovias, tão necessárias ao desenvolvimento sócio econômico do ser humano, são empreendimentos que interagem com o meio ambiente, afetando-o de diversas formas (BALBO, 2017):

- a) Gerando fragmentação de habitat;
- b) Alterando a dinâmica hidrológica através da compactação de solos e criando superfícies impermeáveis que interrompem o fluxo natural de água através de camadas permeáveis, drenagens superficiais e áreas úmidas;
- c) Acelerando o fluxo superficial da água com a pavimentação, produzindo processos erosivos e poluição nas drenagens, causando danos à fauna aquática;
- d) Permitindo, através dos distúrbios gerados pela implantação, a proliferação de plantas invasoras;
- e) Alterando a salinidade de áreas úmidas, gerando danos à vegetação nativa;
- f) Causando danos e morte de anfíbios, pelo excesso de sais, durante os períodos migração, especialmente durante os períodos de procriação;
- g) Causando morte de animais por atropelamento;
- h) Interferindo diretamente em áreas conturbadas.

4.6 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da resolução de número 237 do dia 19 de dezembro de 1997 regulamenta o licenciamento ambiental, visando monitorar e gerenciar as atividades de expansão, as obras e projetos de iniciativa privada, assim como proteger locais de reserva, objetivando controlar os impactos ambientais dos materiais utilizados, das construções e dos materiais manipulados (ARAUJO, 2016).

Para Gehwer (2017), a necessidade de licenciamento ambiental compete estradas com duas ou mais faixas de deslocamento, além de linhas férreas e demais dispositivos. Porém para que o documento seja validado, são trabalhados diferentes aspectos e, ainda de acordo com o mesmo autor, são departamentos como:

- a) Fundação Nacional do Índio;
- b) Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional;
- c) Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade;
- d) Instituto Nacional de Colonização e Reforma agrária.

A função do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é gerenciar o sistema nacional de vias de transporte, cuidando de suas obras de reforma, reestruturação, ampliação e na manutenção dos seus serviços ativos, assim como dos seus setores subordinados (SILVA, 2005).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desse estudo, constatou-se que os pavimentos, por sofrerem as tensões do carregamento, fluxo e intensidade do trânsito devem ser capazes de resistir a esses esforços, além de transmitirem para o solo. Esses esforços impactam na pavimentação, desgastando-as, e há ainda a fadiga dado a resistência a carregamentos repetitivos.

Logo, é perceptível que os pavimentos rodoviários são dimensionados considerando aspectos técnicos, tais como o carregamento, a geometria, a geologia do solo, velocidade diretriz, entre outros, de modo a proporcionar aos usuários conforto e segurança durante a locomoção. Foram verificados no estudo da Seção 2 o histórico da pavimentação, inclusive a nível nacional, contribuindo para o conhecimento da origem das técnicas de pavimentação, utilizadas para obras de diversos segmentos.

Contudo, devido ao excesso de carregamento dos caminhões de carga tem-se uma redução de parâmetros como da própria vida útil do pavimento, intensificando, os gastos em manutenção e recuperação. Ademais, esses recursos poderiam serem redirecionados para outros setores, inclusive para a ampliação de rodovias, implementação de novos trechos. Desta forma, como visto na Seção 3, os materiais devem ser utilizados de maneira que apresentem boa coesão, resistência e deformações próximos do regime elástico, com razoáveis taxas de variação. Assim também são realizadas análises dos tipos de solos, que servirão de base (fundação) para a construção do pavimento.

Quanto ao tipo de pavimentação mais presente no Brasil, contatou-se através da pesquisa que se trata do tipo flexível e semirrígido, sendo que esses apresentam menor vida útil, dado a tecnologias e materiais empregados se comparados ao pavimento rígido. Demais fatores foram estudados na Seção 4, como a drenagem do sistema perante precipitação, custos e manutenção além de aspectos relacionados ao desenvolvimento sustentável e ao meio ambiente, tendo em vista o manuseio e transporte de produtos químicos derivados dos processos de fabricação das ligas asfálticas. Como sugestão de trabalho futuro, se pode abordar os trabalhos relacionados ao reconhecimento de solos (topografia), destinados a implementação de pavimentações.

REFERÊNCIAS

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

AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, ***Rough Roads Ahead, Fix Them Now or Pay for It Later***. USA. 2009. Disponível em: <<http://roughroads.transportation.org/RoughRoadsFullReport.pdf>> Acesso em 18 abr. 2019.

ANANIAS, Renata; OLIVEIRA, Viviane; MEAN, Angélica. Pavimentação rígida. Itatiba. Universidade São Francisco. 2011.

ARAÚJO, Marcelo Almeida et al. Análise **Comparativa de Métodos de Pavimentação Pavimento Rígido**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento, ANO 1. VOL. 10, Pp Novembro de 2016.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, J. T. **Construção e Pavimentação**. São Paulo/SP, USP – Curso de Engenharia Civil, Notas de aula, 2017.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/ ABEDA, 2006.

COLARES, Liliane Galvão. **Concessão Administrativa**: gerenciando a manutenção de rodovias por parâmetros de desempenho. Projeto de pesquisa de artigo científico apresentado à Comissão de Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Controle Externo (PGCE) do Instituto Serzedello Corrêa do Tribunal de Contas da União, Brasília: 2011.

DANIELESKI, Maria Luiza. **Proposta de metodologia de avaliação superficial de pavimentos urbanos**: aplicação à rede viária de Porto Alegre. 2004, 187 f.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes- DNIT 050/2004 - EM - **Pavimento rígido** - Cimento Portland Especificação de material. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-material-em/dnit050_2004_em.pdf>. Acesso em 18 abr. 2019.

GEHWER, Juliano. **Pavimentação Asfáltica**. São Paulo: Elsevier, 2017.

HASNI, H. et al. **A self-powered surfaces sensing approach for detection of bottom-up cracking in asphalt concrete pavements**: theoretical/numerical modeling. Construction and Building Materials, 2017. v. 144, p. 728-746.

PEREIRA, Marinaldo. **Adesividade entre o betume e os agregados**, ; Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAfIMYAD/marinaldo-20dos-20anos-20pereira?part=5>> Acesso em 18 abr. 2019.

SILVA, P. B. **Estudo em laboratório e em campo de misturas asfálticas SMA 0/8S**. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.