



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL**

MARIA DAGMAR DE OLIVEIRA

ESTUDO SOBRE PAVIMENTOS COM REVESTIMENTO ASFÁLTICO

**UBÁ/MG
2017**

MARIA DAGMAR DE OLIVEIRA

ESTUDO SOBRE PAVIMENTOS COM RESVESTIMENTO ASFÁLTICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora Me. Liliane Souza Oliveira Moni.

UBÁ/ MG

2017

Resumo

Este trabalho contém informações a respeito dos diferentes pavimentos confeccionados com revestimento asfáltico, suas características podem sofrer variações de acordo com os diferentes materiais utilizados em sua confecção. A partir dos estudos realizados conclui-se que para um bom dimensionamento de pavimentos é necessário conhecimento sobre as condições da área e, principalmente, sobre o tráfego existente na região, para se definir o carregamento máximo que esta estrutura terá de suportar. Além disso é preciso levar em consideração a fadiga causada pelo seu uso. Este trabalho abordou os tipos de degradação e suas disparidades, a forma de ocorrência da distribuição de tensões ao longo de suas camadas e o modo de apresentação dos desgastes ao longo de sua vida útil. Procurou-se entender e conhecer mais a fundo os principais pavimentos com revestimento asfáltico com ênfase no pavimento flexível, suas aplicações e peculiaridades. Há também dados gerais sobre a pavimentação como parte importante para o avanço da sociedade.

Palavras-chave: Pavimento flexível. Revestimento. Camadas. Degradação.

Abstract

This article contains information about the different pavements made with asphalt, which presents its variations according to the different materials used in its construction. From the studies carried out, it is concluded that for a good sizing of pavements it is necessary to know the area's conditions and, especially, the existing traffic in the region, in order to define the maximum load that this structure will have to bear. In addition it is necessary to take into account the fatigue caused by its use. This work deals with the types of degradation and their disparities, the occurrence's form of the tensions distribution along its layers and the way of presenting the wear throughout its useful life. It was sought to understand and to know more in depth this type of pavement, its applications and peculiarities. There is also general data on paving as an important part for the society advancement.

Keywords: Flexible pavement. Coating. Layers. Degradati

1 INTRODUÇÃO

Há tempos a sociedade enxerga a necessidade de se deslocar de determinado local a outro, sendo de suma importância para suprir a necessidade crescente de interação entre diferentes povos e sendo também primordial para o avanço e desenvolvimento econômico, cultural e político entre diferentes nações. Um dos meios utilizados para a locomoção são as estradas que oferecem maior conforto, eficiência e segurança aos usuários, quando bem pavimentadas (NETO, 2011).

Para que as estradas ofereçam um bom desempenho aos usuários é necessário o bom dimensionamento do pavimento, sendo assim para que tal desempenho seja assegurado é essencial o estudo das condições da área e principalmente do tráfego existente na região, para se definir o carregamento máximo que esta estrutura terá de suportar. Além disso, é preciso levar em consideração as diferentes formas de fadiga causadas pelo seu uso.

A principal diferença encontrada entre os pavimentos é a forma com que a carga é recebida pela camada mais superficial e distribuída para as demais porções do mesmo. Essa característica influencia na durabilidade e segurança de cada tipo de pavimento, é também um dos critérios analisados para se definir o tipo de material que deverá ser utilizado nas camadas no momento de seu dimensionamento.

O objetivo deste trabalho foi apresentar os principais tipos de pavimentos com revestimento asfáltico e as diferenças entre eles. Buscou-se dar maior ênfase ao pavimento flexível, apresentando suas características, peculiaridades, diferentes tipos de dimensionamento, as principais patologias que pode apresentar ao longo de sua vida útil e as possíveis formas de manutenção.

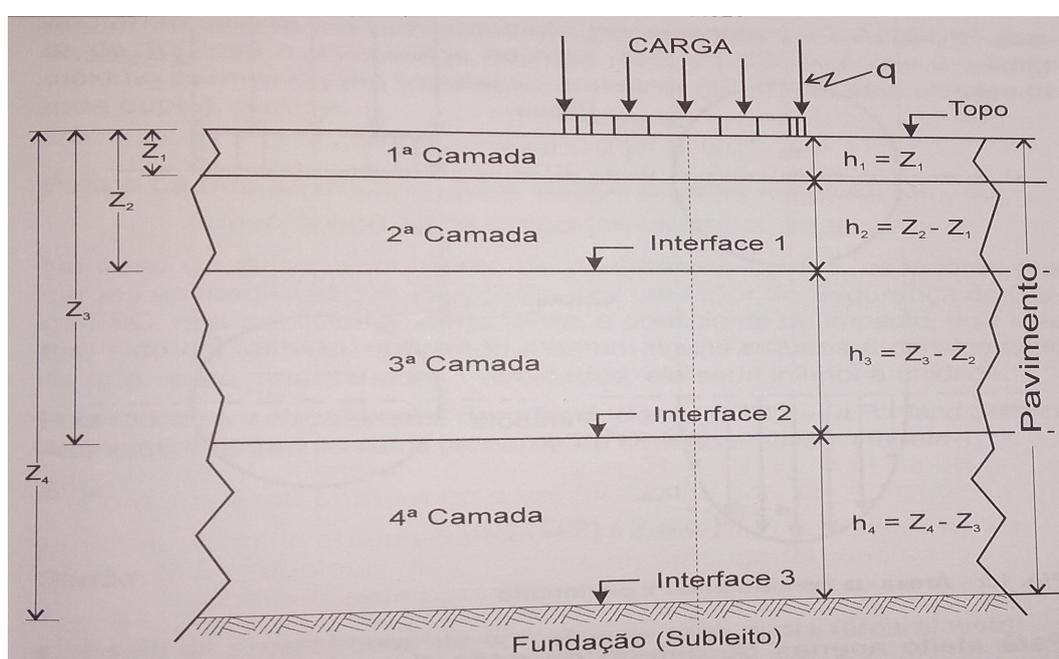
Justifica-se a escolha deste tema como forma de aprofundamento dos conhecimentos sobre os pavimentos com revestimento asfáltico, dando maior destaque para o pavimento flexível, uma vez que este é o mais utilizado no Brasil, sendo amplamente aplicado em todo território nacional.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Pavimentos e suas Generalidades

Pode-se definir um pavimento de forma sucinta. Trata-se de uma junção de estratos sobrepostos, estes constituídos de diferentes materiais que por sua vez possuem diferentes deformabilidades e resistências, por apresentarem tais características o cálculo de tensões e deformações é dificultado (DNER, 1996).

Figura 1 – Esquema de camadas de um pavimento



Fonte: SENÇO, 2007.

Os pavimentos de uma rodovia são superestruturas compostas por uma série de camadas pré-estabelecidas e assentadas sobre a infraestrutura ou área de fundação, a qual é nomeado de subleito (FIG.1), este encontra-se limitado superiormente pelo pavimento, necessita ser estudado e considerado até onde as cargas provenientes do tráfego atuam de forma significativa. Normalmente tal profundidade situa-se entre 0,60m a 1,50m (DNER, 1996).

Denomina-se como base do pavimento a camada responsável por suportar e distribuir os esforços decorrentes das cargas do tráfego, que são em sua grande maioria de sentido vertical. A camada, superficial e que possui contato direto com os pneus dos veículos, é denominada de revestimento ou capa de rolamento, é confeccionada para resistir aos esforços horizontais (SENÇO, 2007).

Tipicamente os pavimentos rodoviários são rotulados de duas formas simples: flexíveis e rígidos. Nos dias atuais as nomenclaturas sofreram algumas alterações sendo mais usuais as seguintes denominações: pavimentos asfálticos e pavimento de cimento de concreto Portland, respectivamente, como forma de assinalar o tipo de revestimento (BERNUCCI, 2008).

2.1.1 Principais funções de um pavimento

2.1.1.1 Resistência

A função primária de um pavimento é suportar os esforços resultantes das cargas e de ações climáticas sem apresentar perecimento de forma precoce, ou seja, um pavimento é dimensionado de forma que atenda as solicitações que serão lhe impostas no decorrer de sua vida útil, e para que tal resistência seja obtida diferentes tipos de materiais são selecionados e utilizados nas diferentes camadas (BALBO, 2007).

2.1.1.2 Segurança

Quando bem pavimentada a estrada apresenta uma superfície uniforme e não inaderente aos pneus usados nos veículos, com isso há maior segurança contra à perda de controle do automóvel assegurando boa resposta a frenagem, caso necessário (NETO, 2011).

O material utilizado na confecção da camada superior definirá as características da superfície do pavimento quanto a qualidade antiderrapante (proporcionando maior segurança em condições de pista úmida ou molhada), geração de ruído ocasionado pela passagem dos automóveis, cor e outras qualidades ópticas. As demais características, integridade, regularidade, escassez de fissuras, por exemplo, estão mais relacionadas com a parcela estrutural do pavimento (BALBO, 2007).

2.1.1.3 Durabilidade

A explicação para a deterioração dos pavimentos se dá por mecanismos complexos e não inteiramente equacionados onde o intemperismo e alterações climáticas (ocasionam deformações plásticas) combinados com as tensões geradas pelo tráfego de veículos (geradores de trincas nas camadas) são os principais

responsáveis pelos desgastes ao pavimento, seus danos vão sendo acumulados continuamente com o passar do tempo e afetam de forma posterior o bom funcionamento do mesmo (GONÇALVES, 1999).

2.1.2 Funcionalidade das camadas de um pavimento

A camada superficial, de cobertura (camada de desgaste) é responsável por garantir as propriedades funcionais do pavimento além de propiciar a impermeabilização do mesmo, impedindo assim a penetração de água exterior para as camadas subjacentes e para o solo de fundação. Abaixo da camada de desgaste encontramos o corpo do pavimento que se apresenta indispensável devido sua função de suporte das cargas do tráfego, sua constituição pode compreender camadas estabilizadas com ligantes (betuminosos ou hidráulicos) e também camadas granulares (BRANCO et al, 2008).

Os materiais, mais ou menos resistentes, das camadas supracitadas, comumente, são dispostos de acordo com a solicitação, níveis superiores exigem materiais mais resistentes, pois recebem maior carga assim como níveis inferiores aceitam materiais que não suportem grandes solicitações. As tensões vão se dissipando ao longo das camadas, ou seja, camadas superiores deverão possuir maior resistência que as camadas inferiores uma vez que a presença das forças recebidas se apresenta de forma decrescente, de cima para baixo. As camadas possuem também a função de suporte para as sobrejacentes (COSTA, 2008).

Assim, no caso das camadas betuminosas, a camada subjacente à camada de desgaste designa-se por “camada de regularização”. Abaixo desta dispõe-se “camadas de base”, aglutinadas ou não; a camada inferior do corpo do pavimento, construída diretamente sobre a fundação, tem em geral o nome de “camada de sub-base” e é normalmente constituída por materiais granulares apenas estabilizados mecanicamente por compactação, mas pode ser também de solo tratado com cimento (BRANCO et al., 2008).

Há a possibilidade de o solo de fundação (constituída pelo terreno natural) do pavimento não possuir qualidade resistiva suficiente, a esses casos aplica-se uma espécie de tratamento a esta camada podendo este ser feito por sobreposição com solo de melhor qualidade e/ou tratamento com ligantes, o chamado “leito do pavimento”, que possui como função aumentar a capacidade de suporte da

fundação e homogeneizar as suas características resistentes, faz parte integrante da fundação (COSTA, 2008).

A TAB. 1 mostra os diferentes materiais utilizados em cada tipo de pavimento e o nível de deformabilidade ao qual cada um está sujeito.

Tabela 1 - Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade

Tipo de Pavimento	Materiais (ligante)	Deformabilidade
Flexível	Hidrocarbonetos e granulares	Elevada
Rígido	Hidráulicos e granulares	Muito reduzida
Semirrígido	Hidrocarbonados, hidráulicos e granulares	Reduzida

Fonte: BRANCO, 2008.

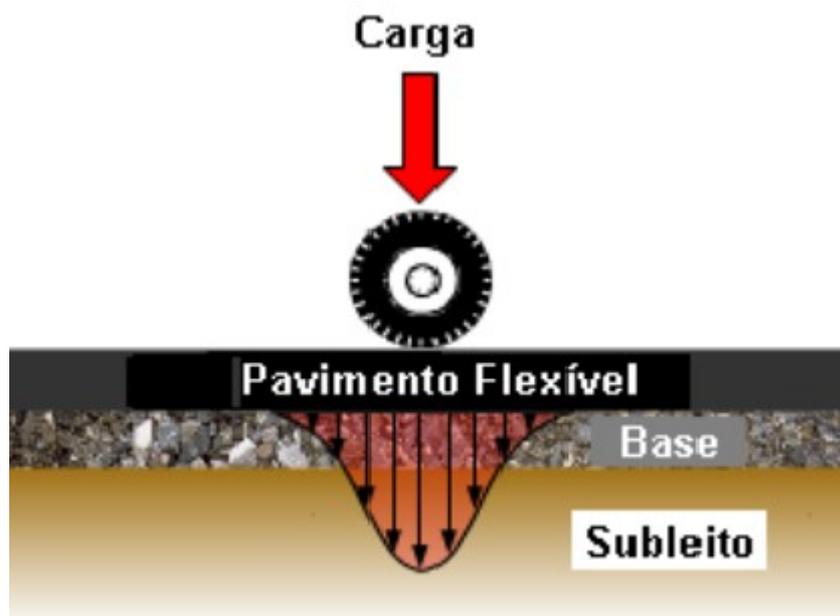
2.2 Pavimentos com Revestimento Asfáltico

O asfalto é uma matéria muito utilizada desde a antiguidade, devido sua versatilidade, para aplicação em diversos tipos de construção. Este tipo de material pode ter sua aplicação desde a agricultura até a indústria. Seu emprego para a pavimentação é um dos mais importantes e antigos, sendo a principal forma de revestimento na grande maioria dos países. No Brasil, aproximadamente 95% das estradas possuem este tipo de revestimento, além de ser também largamente aplicado em ruas (BERNUCCI, 2008).

2.2.1 Pavimento Flexível

Pavimento Flexível: aquele 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. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006).

Figura 2 - Distribuição de Tensões



Fonte: BALBO, 2007 apud MEZZOMO, 2014.

Os pavimentos são dimensionados para suportarem as cargas transmitidas pelas rodas pneumáticas dos veículos. A pressão exercida pelas rodas/pneus quando em contato com o pavimento tem uma distribuição próxima ao formato parabólico, onde o valor máximo da força exercida encontra-se no centro da área carregada, como mostrado na FIG. 2 (PASTANA, 2006).

2.2.2 Pavimento Semirrígido

Este tipo de pavimento “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).

Segundo Branco (2008) este tipo de pavimento apresenta características presentes nos pavimentos rígido e flexível. As camadas mais superficiais (betuminosas), camada de desgaste e camada de regularização, possuem composição equivalente à do pavimento flexível, sendo assim podemos concluir que a camada de base é que diferencia esse tipo de pavimento.

O tipo semirrígido é constituído por uma camada de revestimento asfáltico, sua base é de material cimentício e a sub-base é de material granular ou solo. A resistência à compressão axial mínima da base cimentada deverá ser de 4,6 Mpa, conforme estudos realizados no Texas. Deve-se respeitar

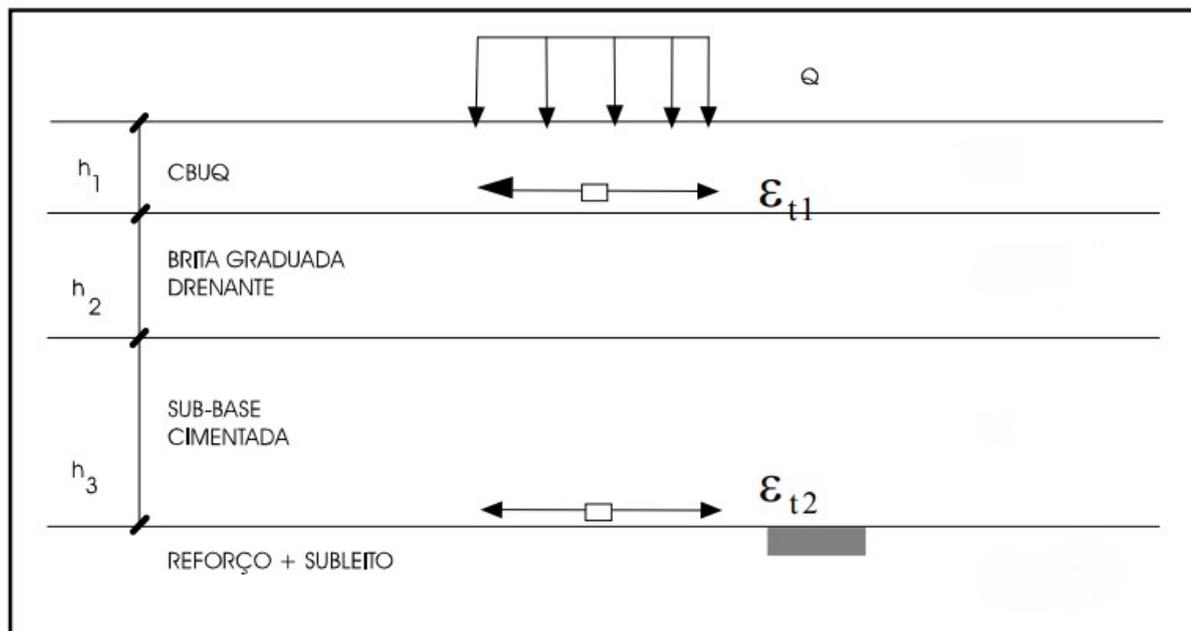
essa resistência mínima de modo a evitar ruptura precoce do topo da base à compressão (SILVA, 2005 apud CÂNDIDO et al., 2013, p.27).

A camada de base, neste tipo de pavimento, por sua elevada rigidez, é a responsável pela absorção da maior parte dos esforços verticais que, por essa razão, atuam de forma mais branda no solo da fundação. Devido sua espessura as camadas betuminosas, em alguns casos, possuem contribuição estrutural importante (BRANCO, 2008).

2.2.3 Pavimento Invertido

Este tipo de pavimento possui camada de revestimento constituída por asfalto, base de material granular e sub-base de material cimentício. O trincamento por fadiga ocorrerá de forma semelhante ao que acontece com o pavimento flexível tradicional, uma vez que seu revestimento está sujeito a deformações de tração em sua fibra inferior. A única distinção encontra-se no fato de que a sub-base cimentada também estará sob a ação dessas deformações, acarretando assim um processo gradativo de trincamento por fadiga, desta forma o módulo de elasticidade efetivo se reduzirá devido a recorrência das cargas do tráfego de veículos. A consequência será, no decorrer do tempo, o aumento das deformações de tração sob o revestimento asfáltico, de acordo com a degradação da sub-base, que fornece as condições de suporte para a camada (CÂNDIDO *et al*, 2013). A FIG. 3 demonstra o esquema de um pavimento invertido.

Figura 3 - Esquema de um pavimento invertido



Fonte: DNER, 1996.

Nas seções seguintes podemos observar os exemplos de tratamento superficiais para pavimento invertido, que são aplicações separadas e sucessivas de ligante betuminoso e agregado mineral.

2.2.3.1 TSS – Tratamento superficial simples

Tratamento superficial simples – TSS é a camada de revestimento do pavimento, constituída de uma aplicação de ligante betuminoso coberta por uma camada de agregado mineral, submetida à compressão (DNIT, 2012).

2.2.3.2 TSD – Tratamento superficial duplo

Tratamento superficial duplo – TSD é a camada de revestimento do pavimento, constituída por duas aplicações sucessivas de ligante betuminoso, cobertas, cada uma, por camada de agregado mineral, submetidas à compressão (DNIT, 2012).

2.2.3.3 TST- Tratamento superficial triplo

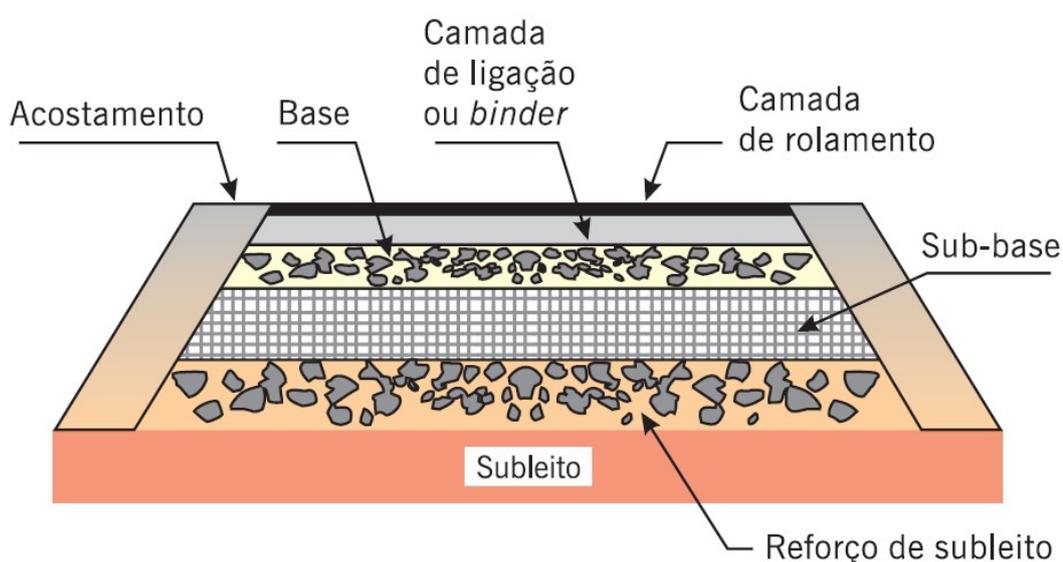
Tratamento superficial triplo - TST é a camada de revestimento do pavimento, constituída por três aplicações sucessivas de ligante betuminoso, cobertas cada uma por camada de agregado mineral, submetidas à compressão (DNIT, 2012).

2.2.4 Métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis

“O dimensionamento do pavimento visa definir a sua composição de modo a evitar que, para o número de carregamentos previsto durante a vida do pavimento, as degradações ultrapassem certos limites considerados aceitáveis” (BRANCO, 2008).

Normalmente o pavimento flexível é constituído por cinco camadas (FIG. 4), sendo elas: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito (SOUZA et al., 1996).

Figura 4 – Camadas Pavimento Flexível



Fonte: BERNUCCI et al, 2008 apud SILVA, 2012.

As camadas de um pavimento são dimensionadas de acordo com as solicitações que deverão suportar no decorrer do seu período de utilização. As camadas betuminosas, por exemplo, quando submetidas a condições em que trabalhem como se pertencessem a uma única, essa estará sujeita a ação de tensões, que no plano vertical, oscilam da condição de tensão de compressão máxima na face superior da camada de desgaste, até um valor máximo de tensão de tração na face inferior da última camada (BRANCO, 2008).

De acordo com DNIT (2006) os pavimentos possuem um determinado ciclo de vida útil, sendo assim, é possível prever e intervir em sua deterioração ao longo do tempo. O desempenho do pavimento vai sofrendo declínio com o passar do tempo,

geralmente essa queda em seu desempenho é de possível previsão ($1,5 \leq IRI^1 \leq 3,5/4$) dentro de cada ciclo.

Para se considerar os possíveis meios de ruptura de um pavimento devemos levar em consideração a existência de uma infinidade de combinações de fatores, estas específicas de cada região do planeta, que podem ter contribuído para o aparecimento deste dano, tendo como exemplo: variadas condições climáticas e morfológicas, utilização de diferentes materiais de acordo com o disponível em cada região do mundo e o emprego de diferentes métodos construtivos e de projeto (BALBO, 2011).

Há opiniões diferentes sobre os motivos pelos quais pavimentos são acometidos por rupturas, engenheiros e pesquisadores creem que, no Brasil, esse tipo de degradação ocorra devido a fadiga do pavimento (BALBO, 2011).

O pavimento deve sofrer intervenções de natureza corretiva e preventiva ao longo de sua vida para que a previsibilidade de deterioração e necessidade de manutenção cíclica possam ser levadas em consideração. Quando o pavimento chega ao final de seu ciclo ($IRI^1 \cong 3,5/4$) os valores econômicos para sua manutenção passam a ser inviáveis, uma vez que o desgaste aumentará de forma significativa e o intervalo entre uma manutenção e outra serão reduzidos. “Nessa oportunidade deve, então, ser projetado e executado o novo dimensionamento do pavimento de sorte a se atender a um novo ciclo de vida – repetindo-se então o processo, em ciclos sucessivos.” (DNIT, 2006).

Basicamente os métodos para dimensionamento de pavimentos são divididos em dois grupos, sendo eles: empíricos e mecânicos. Existem autores que acrescentam um terceiro método, o semi-empírico, no entanto, este último não é muito recomendado (CÂNDIDO, 2013). Logo a frente seguirá a explicação de cada um dos métodos.

¹ IRI: usada pelo DNIT, a escala “International Roughness Index”, que é uma escala de referência, transferível para outros sistemas de medição. O IRI é definido matematicamente a partir de um perfil levantado por nível e mira (ou equipamento similar) nas trilhas de roda, visando simular os movimentos verticais de um “Sistema Medidor de Superfície de Pavimento”.

2.2.4.1 Métodos Empíricos

São aqueles que possuem sua base em conhecimentos, estes provenientes de experiências, acumulados e correlacionam a funcionalidade do pavimento com algumas características dos materiais empregados na construção. Este tipo de método não requer aparelhagem sofisticada para a realização de ensaios de caracterização exigidos, por essa razão são vantajosos e facilmente empregados. Porém, são consideravelmente restritos pelas condições de contorno (materiais utilizados em sua confecção, clima da região, condições de tráfego, etc.) assim não se torna possível a generalização correta para outras regiões (NETO, 2004).

De acordo com Hartmann (2009) o método em questão oferece os seguintes benefícios:

- Possui aplicação fácil e rápida, pertinente para pré-dimensionamento ou em utilizações habituais;
- Seu emprego é simples, uma vez que os ensaios de caracterização impostos não são complexos e demandam aparelhagem simples;
- Para a realização do projeto requer-se poucos dados, sendo estes de fácil obtenção;
- Reprodução do comportamento de alguns pavimentos em verdadeira grandeza, sendo assim já se está considerando os reflexos do tráfego verdadeiro (carga, geometria, solicitações dinâmicas, etc) e os do intemperismo;

E os seguintes inconvenientes:

- Por serem métodos baseados em estudos feitos em trechos experimentais, são aplicáveis apenas à lugares/regiões que obtiverem as mesmas características encontradas no trecho que lhe originou;
- Contém baixa exatidão matemática, sendo este fator de suma importância para se examinar os reflexos, para o comportamento, de alterações nas características mecânicas dos materiais, por esta razão torna-se impedido para uso em dosagens de misturas do projeto do pavimento, havendo também a inviabilidade de consideração de novos materiais;

No Brasil as estruturas de pavimentos flexíveis têm sido dimensionadas a partir do método do DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem), que tem como base o trabalho "Design of Flexible Pavements

Considering Mixed Loads and Traffic Volume”, de autoria de Turnbull, Foster e Ahvin do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, e algumas conclusões obtidas na pista experimental da AASHTO. Foi elaborado pelo engenheiro Murilo Lopes de Souza em 1966, e desde então tem sido utilizado em todo território nacional (CÂNDIDO *et al.*, 2013).

De acordo com Hartmann (2009), há dois tipos de métodos empíricos:

- Aqueles que não utilizam ensaios de resistência dos solos. Há como exemplo o método do índice de grupo (IG) e o método do HRB (Highway Research Board);
- Aqueles que utilizam os ensaios de resistência dos solos. Tem-se como exemplo o método do CBR (Califórnia Bearing Ratio) e o método de Hyeem.

2.2.4.2 Métodos Mecanísticos

“Trata-se do método proveniente da calibração de modelos teóricos com dados experimentais obtidos em campo e em laboratório” (BALBO, 2011).

É assim denominado quando se utiliza de uma teoria para antever tensões e deformações na estrutura do pavimento geradas pelo tráfego e pelo meio ambiente, e busca compatibilizá-las com as tensões resistentes dos insumos (CÂNDIDO *et al.*, 2013).

“São métodos que efetuam a integração de um modelo estrutural para o pavimento, modelo este relacionado estreitamente com a geração de defeitos na estrutura, com uma base experimental”. Sendo assim empregam as chamadas “fundações de transferência”, responsáveis por realizarem a relação entre as respostas da estrutura às cargas do tráfego (tensões, deformações, deflexões) ao aparecimento e progresso dos defeitos (trincas e deformações plásticas) (SPECHT, 2008 *apud* HARTMANN, 2009).

É possível se ter um amplo entendimento da operacionalidade da estrutura quando a mesma for solicitada, tornando exequível a alteração quanto a natureza dos materiais integrantes e as espessuras das camadas. Ao se examinar uma estrutura de acordo com o ponto de vista mecanístico vemos a possibilidade de modificá-la para que assim proporcione um desempenho adequado de cada material que constituir o pavimento, fazendo assim com que o conjunto seja solicitado de forma equilibrada, sendo assim se evita a solicitação desigual das camadas que poderia as levar a ruptura precoce (NETO, 2004).

2.2.4.3 Métodos Semi empíricos

Este tipo de método é obtido através do excesso de dados, experiências e resultados adquiridos por meio de excedentes dos mesmos que são provenientes de um modelo observacional. O exemplo mais relevante são os critérios que se baseiam pela parametrização das estruturas de pavimento por meio de valores de CBR² de suas camadas. O critério CBR é vastamente aplicado por agências federais, estaduais e municipais no Brasil, com algumas alterações. Não se pode assegurar que um determinado critério seja inteiramente suficiente/adequado, ou ainda, plenamente válido. Cada critério possui suas peculiaridades que serão mais, ou, menos adequadas segundo a especificidade do caso em questão (BALBO, 2011).

2.3 Principais patologias dos pavimentos flexíveis

Pavimentos rodoviários sofrem vários tipos de solicitações, desde o fim de sua concepção, estas responsáveis por sua degradação progressiva ao longo de sua vida útil, devido a este fato sua qualidade inicial vai se reduzindo gradativamente. As atuações dos agentes atmosféricos fazem com que o pavimento seja solicitado mesmo antes de “entrar em serviço”, elas podem se apresentar mais ou menos severas dependendo da localização e constituição (BRANCO, 2008).

A incapacidade de suporte de carga, pelos pavimentos, se dá devido ao colapso da estrutura do mesmo ou pela ocorrência de fadiga de um ou mais materiais que o constituem, trata-se de desgaste a nível estrutural. Diz-se que o pavimento se encontra com degradação funcional quando este apresenta decréscimo da capacidade de oferecer comodidade e segurança à circulação de veículos, além de apresentar desgaste nas camadas mais superficiais. Acredita-se que a evolução da degradação de pavimentos não ocorra de forma que os

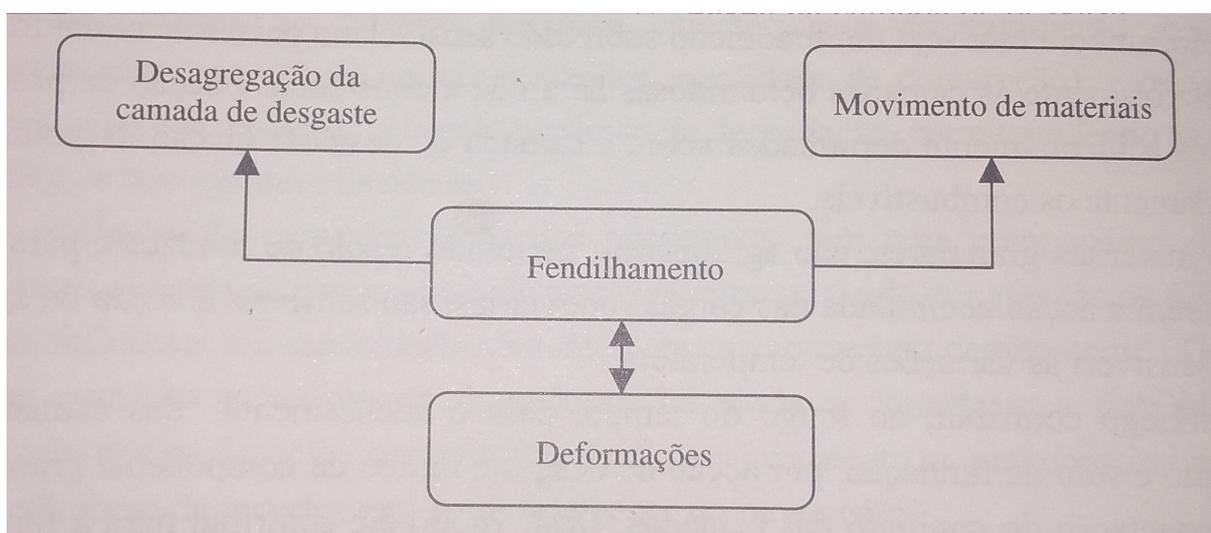
² CBR: California Bearing Ratio, primeiro método de dimensionamento de pavimentos flexíveis originado a partir de experimentos puramente empíricos, com considerável número de avaliações experimentais e laboratoriais.

desgastes progridam isoladamente, seria como se um dano originasse outro por consequência (PEREIRA e MIRANDA, 1999 *apud* COSTA, 2008).

Materiais aglutinados (betuminosos e hidráulicos) apresentam disparidades em relação a evolução de sua degradação quando comparados aos não aglutinados. Materiais betuminosos possuem degradação relacionada ao envelhecimento do ligante decorrente da ação da luz solar e das mudanças de temperatura acometendo de forma mais severa a camada de revestimento/desgaste, estas responsáveis pelo aparecimento do fendilhamento. Os materiais granulares não aglutinados, incluindo-se o solo de fundação, têm maior sensibilidade quanto a ação da água, esta responsável pela diminuição do atrito interno dos materiais granulares, que sob a ação das cargas do tráfego facilita um novo arranjo das partículas, por outro lado os materiais não aglutinados apresentam menor sensibilidade às variações de temperatura (BRANCO, 2008).

A FIG. 5 apresenta o esquema de geração de degradação dos pavimentos.

Figura 5 – Sequência e interação das degradações



Fonte: BRANCO, 2008.

2.3.1 Deformações

A atuação mais relevante dos insumos de pavimentação quando relacionados a pavimentos flexíveis é aquela de natureza viscoplástica, sendo que o mesmo comportamento não pode ser aplicado àqueles cimentados nas fases anteriores de sua degradação por fadiga. Os materiais empregados na confecção dos pavimentos (solos, misturas estabilizadas granulometricamente, pedras britadas e pedregulhos)

a cada solicitação devido a carga indicará uma componente de deformação residual que serão acumulativas no decorrer da vida útil do pavimento, isto acarretará o surgimento de deformações permanentes, em especial em trilhas de roda (BALBO, 2007).

As deformações permanentes na superfície do pavimento podem ser subdivididas em:

- Ondulações: são deformações que ocorrem na direção transversal da camada de superfície do pavimento proveniente da deficiência na distribuição do ligante, outra causa para o acontecimento deste tipo de deficiência seria a deformação da fundação que ocasionaria pequenas ondulações no pavimento (DNIT, 2010);
- Rodeiras: apresentam-se como deformações longitudinais, surgem na área onde os pneus dos automóveis passam (BRANCO, 2008);
- Deformações localizadas: o revestimento sofre deslocamento em relação as camadas inferiores, normalmente ocasionando rotura do pavimento (SILVA, 2006);
- Abatimento: este tipo de deformação pode apresentar-se ao longo do pavimento ou na direção transversal. O abatimento apresenta-se ao longo do pavimento junto à berma, ou ao longo do eixo da faixa de rodagem. Quando localizado junto à berma pode ocasionar redução da capacidade das camadas granulares e do solo de fundação, devido a entrada de água. Já quando surge ao longo do eixo, possui causa relacionada com a existência de fendilhamento ao longo do mesmo, resulta em infiltração de água até as camadas granulares inferiores e ao solo de fundação. O abatimento transversal tem seu aparecimento e localização dependente do acontecimento de situações patológicas ao nível das camadas inferiores (BRANCO, 2008);

2.3.2 Degradação da camada de desgaste

“Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego” (DNIT, 2010).

A abrasão originada pelos veículos ocasiona o desgaste e a exposição dos agregados e a perda de estrutura da macrotextura da camada superficial do pavimento, este processo pode ser apressado pelo intemperismo, gerando a queda do coeficiente de atrito (GONÇALVES, 1999).

2.3.3 Movimento de materiais

Um dos tipos de degradação desta família é o resultado da alteração da composição da camada de desgaste. “Excesso de ligante asfáltico na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante para a superfície do revestimento”, este tipo de degradação é denominado de exsudação (DNIT, 2010).

2.3.4 Fendilhamento

O “fendilhamento” de um pavimento é, de certa forma, indefinível, há por parte dos técnicos e administradores, discordâncias quanto ao melhor momento de reparar/restaurar pavimentos com certo nível de fadiga estrutural e/ou funcional. Um pavimento com problemas em sua funcionalidade possui consequências intrínsecas que em sua maioria não são instantaneamente perceptíveis. Elas acarretam prejuízos: econômicos, uma vez que o valor de sua manutenção é elevado e aos usuários devido ao perecimento dos veículos (GONÇALVES, 1999).

Este é o tipo de degradação mais comum e frequente nos pavimentos flexíveis, geralmente ocasionado pela fadiga dos materiais das camadas betuminosas, proveniente da repetição dos esforços de tração por flexão desta camada. Normalmente um dos primeiros sinais de deterioração estrutural apresentados pelos pavimentos. O fendilhamento apresenta-se de diversas formas, podendo estas serem fendas isoladas ou ramificadas, são classificadas quanto a sua origem e posicionamento (BRANCO, 2008). A TAB. 2 apresenta as relações “causa-efeito” de pavimentos em serviço.

Tabela 2 - Classificação das relações entre as degradações e os fatores de degradação

DEGRADAÇÕES	FACTORES DE DEGRADAÇÃO									
	Condições de drenagem	Sub-dimensões da camada de desgaste	Sub-dimensões das camadas inferiores	Capacidade de suporte da fundação	Qualidade dos materiais	Deficiências de fabrico e execução	Ligação entre camada de base e de desgaste	Agressividade do tráfego	Acções climáticas	Camadas estruturais de reduzida compactidade
Deformações	***	*	**	***	*	**		*	*	***
Rodeiras	***	*	**	***	**	*		**	**	***
Fendas	**	**	**	**	***	**	**	***	***	***
Fendas parabólicas	*	**			**	**	***	***	***	**
Pele de crocodilo	**	**	**	**	***	**	**	***	***	***
Pelada		***	*		**	**	***	***	**	**
Ninhos		**	*		***	***	**	**	**	***
Cabeça de gato					***	**		***	*	**
Desagregação superficial					***	***		**	***	**
Exsudação					***	**		***	***	

*** - Muito importante; ** - Importante; * - Pouco Importante

Fonte: BRANCO, 2008.

2.4 Manutenção de Pavimentos

A manutenção de um pavimento abrange todos os procedimentos que afetem, de forma direta ou indireta, a presente e/ou futura funcionalidade/desempenho do pavimento. Divide-se a manutenção em três procedimentos (conservação, restauração e reconstrução), distintos entre si pelo tipo de intervenção necessária, que será determinado a partir do nível de deterioração que o pavimento apresentar. Será descrito logo abaixo as definições dos tipos de manutenção citados acima (GONÇALVES, 1999).

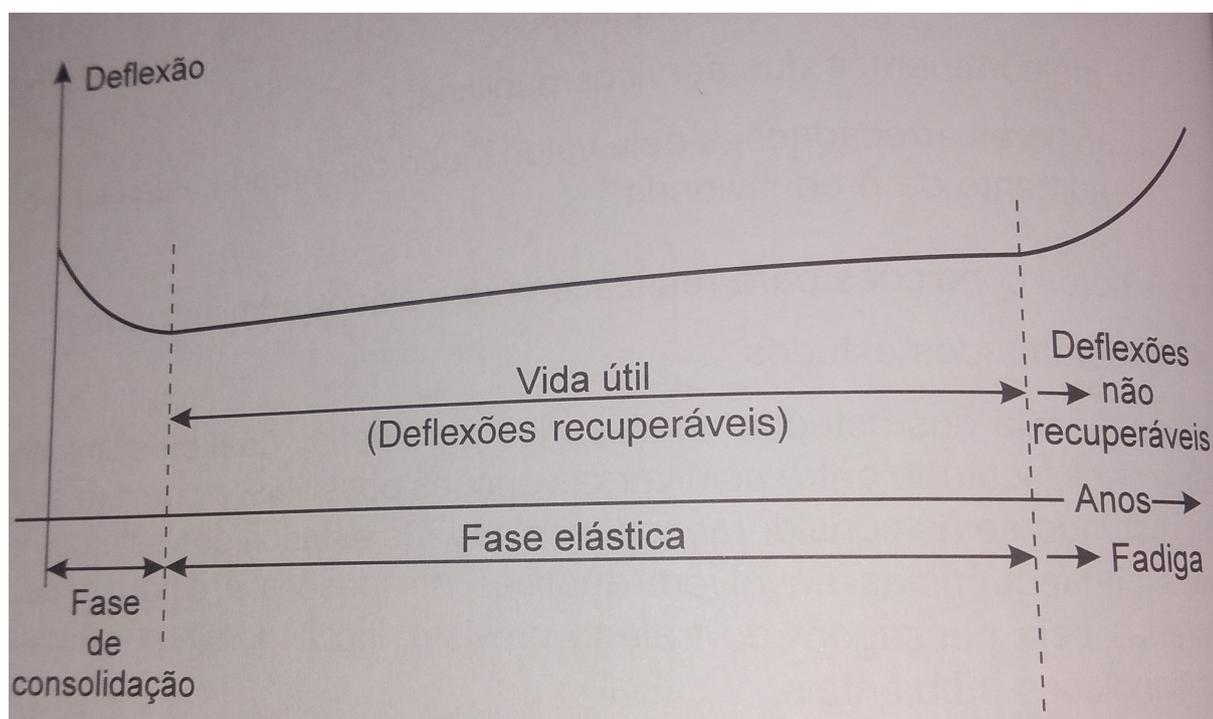
- **Conservação:** trata-se de intervenções que buscam reparo total ou parcial de imperfeições funcionais e/ou preservação da estrutura do pavimento contra destruição precoce, ou seja, mais acelerada.
- **Restauração:** consiste em fazer com que o pavimento volte a possuir níveis aceitáveis de funcionalidade de forma que as intervenções sejam técnica e economicamente satisfatórias. A durabilidade e o desempenho da solução

aplicada precisam atender a requisitos mínimos, necessitam também conduzir a um retorno máximo do investimento empregado, dentro de restrições técnicas e operacionais existentes.

- **Reconstrução:** esta medida é necessária quando o pavimento se encontra em completa ruína e sua restauração torna-se inviável, quando não apresenta segurança em seu desempenho e quando houver a necessidade de mudança do traçado da rodovia, diante destas situações o pavimento existente deve ser completamente removido.

A FIG. 6 apresenta o comportamento perfeito de um pavimento durante seu “ciclo de vida”.

Figura 6 – Relação entre a deflexão e o tempo de vida de um pavimento



Fonte: SENÇO, 2007.

É elevado o grau de complexidade da definição do prognóstico de comportamento/desempenho de um pavimento e de meios para sua manutenção, no entanto, sua importância é de tal relevância que diversas pesquisas e estudos, vêm buscando melhorias em suas técnicas de implantação e previsão de comportamento, estão sendo realizados por todo mundo (GONÇALVES, 1999).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Contudo, para a realização da escolha do pavimento a ser utilizado em meio a tantas opções, a primeira fase consiste em definições da área técnica. Como já mencionado e explicado anteriormente vê-se a necessidade dos estudos dos esforços que tal pavimento estará exposto, como a análise das tensões e deformações ocasionadas pelo tráfego de veículos e das condições ambientais. Os materiais necessários para sua confecção devem ser analisados e àqueles que possam ser encontrados na localidade em questão devem possuir prioridade para utilização, resultando assim na economia de transporte.

Observou-se com este estudo que os pavimentos com revestimento asfáltico se diferem principalmente pelo tipo de insumo, número e disposição dos materiais das camadas e pelo jeito com que cada camada mais superficial recebe e distribui as tensões para as mais internas. O modo diferente com que cada tipo de pavimento distribui suas tensões também é responsável, ao longo de sua vida útil, pelo aparecimento dos danos provenientes da fadiga, que possui diversas causas distintas.

No decorrer de sua utilização o pavimento pode vir a apresentar diversas formas de degradação, sendo estas provenientes de uma série de fatores. Constatou-se também que os desgastes neste tipo de pavimento encontram-se em uma espécie de ciclo, ou seja, um acaba por ocasionar outro.

As degradações sofridas pelos pavimentos podem ser separadas por níveis de gravidade, há as mais superficiais que não comprometem a estrutura do pavimento e que por este motivo possuem intervenções mais simples e rápidas e há àquelas que o comprometem estruturalmente e que possuem soluções mais drásticas, cabe o estudo de cada caso para que a melhor alternativa possa ser escolhida e aplicada, buscando sempre maior durabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BRANCO, Fernando; PEREIRA, Paulo; SANTOS, Luís Picado. **Pavimentos Rodoviários**. Coimbra: Edições Almeida. SA, 2008. 388 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani. *Et al.* **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. 2. ed. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2006.490 p.

CÂNDIDO, Eduardo Souza. *Et al.* **Proposta de trecho experimental em pavimento rígido para o campus da UFV**. 2013. 150 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

COSTA, Hugo Bernardo Campos Branquinho Matos. **Análise de Custos de Ciclo de Vida Relativa a Pavimentos Rodoviários Flexíveis**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Norma DNIT 146/2012 – ES**. Pavimentação asfáltica - Tratamento superficial simples - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Norma DNIT 147/2012 – ES**. Pavimentação asfáltica - Tratamento superficial duplo - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Norma DNIT 148/2012 – ES**. Pavimentação asfáltica - Tratamento superficial triplo - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Norma DNIT 154/2010 – ES**. Pavimentação asfáltica: recuperação de defeitos em pavimentos asfálticos - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

GONÇALVES, Fernando Pugliero. **O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis**. P. 149. Notas de Aula.

GONÇALVES, Fernando Pugliero. **O Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos**. P. 77. Notas de Aula.

HARTMANN, Diego Arthur. **Análise dos defeitos e da irregularidade de pavimentos flexíveis a partir do guia da AASHTO de 2004**. 2009. 75 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.

MARTELL, Daniel Wolter. **Dimensionamento de Pavimento Aeroportuário: análise mecânica com o software Alizé**. 2009. 68 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MEZZOMO, Henrique. **Análise comparativa entre um pavimento de concreto simples e um flexível para a duplicação da rodovia BR – 386/RS**. 2014. 126 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2014.

NETO, Rogério Silveira Bezerra. **Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecânico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de campo grande (MS)**. 2004. 189 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

PASTANA, Carlos Eduardo Troccoli. **Pavimentação de Estradas II**. P. 87. Notas de Aula.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 2001. v. 2.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2.ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p v. 1.

SILVA, Marcelo Corrêa. **Avaliação funcional e estrutural das vias asfaltadas do campus UFV**. 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SILVA, Carlos Felipe Santos Correa. **Reutilização do resíduo oriundo dos serviços de restauração asfáltica como Material alternativo em camadas de**

pavimentos flexíveis. 2012. 74 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Iljuí, 2012.

SOUZA, Rosendo. *et al.* **Manual de Pavimentação** – 2.ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), 1996. 327 p. (IPR. Publ., 697).

SOUZA, Murillo Lopes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos** – 2.ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNER), 2006. 313 p. (IPR. Publ., 720).

SOUZA, Murillo Lopes. **Método de Projetos de Pavimentos Flexíveis** – 3.ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), 1981. 34 p. (IPR. Publ., 667).