



RAFAELLA ZACARONI SILVA

**ESTUDO DE INSERÇÃO DE MALHA METÁLICA EM
PAVIMENTO FLEXÍVEL SOB INFLUÊNCIA DE TERMO E
FOTODEGRADAÇÃO**

**LAVRAS-MG
2020**

RAFAELLA ZACARONI SILVA

**ESTUDO DE INSERÇÃO DE MALHA METÁLICA EM PAVIMENTO FLEXÍVEL
SOB INFLUÊNCIA DE TERMO E FOTODEGRADAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Pr. Dr. Raphael Aparecido Sanches Nascimento

Orientador

**LAVRAS-MG
2020**

RAFAELLA ZACARONI SILVA

**ESTUDO DE INSERÇÃO DE MALHA METÁLICA EM PAVIMENTO FLEXÍVEL
SOB INFLUÊNCIA DE TERMO E FOTODEGRADAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

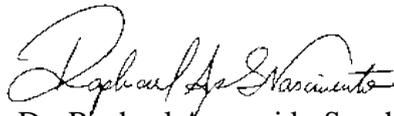
Aprovada em 17 de agosto de 2020.

Pr. Dr. Raphael Aparecido Sanches – UFLA

Pr. Dr. Joaquim Paulo da Silva - UFLA

Pr. Dr. Julio Cesar Ugucioni - UFLA

Pr. Dr. Saulo Rocha Ferreira - UFLA



Pr. Dr. Raphael Aparecido Sanches

Orientador

**LAVRAS-MG
2020**

AGRADECIMENTOS

Nessa oportunidade agradeço a Deus, por ter me abençoado e me guiado durante todos estes anos, pelo privilégio de conseguir chegar até aqui. Aos meus pais, agradeço por todo apoio e suporte de sempre, sem vocês essa caminhada seria impossível. À minha irmã, Maria Paula, por sempre estar comigo em todos os momentos.

À Universidade Federal de Lavras e a todos os professores que me transmitiram conhecimento durante toda esta jornada. Ao meu orientador Raphael Aparecido Sanches Nascimento, agradeço por todo conhecimento compartilhado, ajuda e disposição para a elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos de Nepomuceno, em especial, Bárbara, Brisa e Izadora, por sempre me apoiarem, aos amigos que fiz em Lavras que irei levar para a vida toda, em especial Mirella, Marcella e Carol, por todas as noites de estudo e companheirismo. E ao Vitor Paiva, agradeço por todo incentivo e apoio.

E para finalizar, agradeço e registro aqui a admiração que tenho hoje pela pessoa que eu me tornei, pela garra que tive em alguns momentos tão desafiadores, pelo quanto toda essa experiência me fez despertar e estar mais preparada para a vida.

Gratidão.

RESUMO

O Brasil é um país que possui a maior parte de seu sistema de transporte apoiado em pavimentos flexíveis. Atualmente, a maioria destes pavimentos possui uma idade avançada e com o aumento das cargas de roda para o transporte de mercadorias por todo o país ocasiona o acelerado processo de deterioração destes causando insegurança e desconforto à população. O uso de técnicas de reabilitação para estes pavimentos não vem sendo eficaz, pois não alcançam o comportamento mecânico adequado. A utilização de telas de aço em pavimentos flexíveis como auxílio para reforço da camada de revestimento vem sendo estudado desde 1980 em outros países. Além disto, a posição geográfica do Brasil e sua alta incidência solar faz com que os pavimentos tenham um maior desgaste. Sendo assim, este trabalho traz uma proposta com base em estudos de outros projetos feitos de testes de resistência à fadiga, deformação permanente e reflexão à trincas em pavimentos flexíveis utilizando dois tipos de tela de aço (Q138 e Q61) e também com o aquecimento dos corpos de prova. Com base nesses testes poderemos concluir qual será a melhor forma de reforço e construção dos pavimentos para obtermos rodovias com uma maior vida útil, trazendo maior segurança no transporte e à população.

ABSTRACT

Brazil is a country that has most of its transport system supported by flexible floors. Currently, most of these floors are of advanced age and with the increase in wheel loads for the transportation of goods throughout the country, the accelerated process of deterioration of these causing insecurity and discomfort to the population. The use of rehabilitation techniques for these floors has not been effective, as it does not achieve proper mechanical behavior. The use of steel screens on floors flexible as an aid to reinforce the coating layer has been studied since 1980 in other countries. Besides, Brazil's geographical position and its high solar incidence make the floors to wear more. Therefore, this work brings a proposal based on studies of other projects made of fatigue resistance tests, permanent deformation, and crack reflection on flexible floors using two types of steel screen (Q138 and Q61) and also with the heating of the specimens. Based on these tests we can conclude what will be the best way to reinforce and build the pavements to obtain roads with a longer useful life, bringing greater safety in the transport and the population.

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1 - Camadas componentes do Pavimento Flexível.....	12
Figura 2 - Estrutura Coloidal do cimento asfáltico.	14
Figura 3 - Efeitos produzidos no pavimento por uma carga de roda em movimento. .	16
Figura 4 - Nível de Serventia normalizado pelo DNIT (2003).	17
Figura 5 - Trincas Isoladas.....	18
Figura 6 - Trincas ramificadas.	18
Figura 7 - Afundamento de Trilhas de Roda.....	19
Figura 8 - Drenagem faixa de rolamento (sarjeta).	20
Figura 9 - Tipos de Corpos de prova utilizados.	23

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1 - Ensaio de Penetração do CAP, segundo a NBR 6576.	15
Tabela 2 - Ensaio realizados no teste de fadiga.	25
Tabela 3 - Ensaio realizados no teste de deformação permanente.....	26
Tabela 4 - Ensaio realizados no teste de reflexão a trincas.	27
Tabela 5 – Cronograma.....	28

SUMÁRIO:

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. Pavimentos Flexíveis	11
2.2. Revestimento Asfáltico	13
2.3. Comportamento Estrutural	15
2.4. Fatores que Alteram o Desenvolvimento	16
2.5. Principais Mecanismos de Deterioração de Pavimentos Flexíveis	18
2.5.1. Trincamento por Fadiga	18
2.5.2. Afundamentos de Trilhas de Roda	19
2.5.3. Influência dos Fatores Climáticos nos Pavimentos	20
3.0 OBJETIVOS	21
3.1. Objetivos Gerais	21
3.2. Objetivos Específicos	21
4. JUSTIFICATIVA	21
5. METODOLOGIA	23
6. CRONOGRAMA	28
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1.0. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país onde o meio de transporte é feito em sua maior parte por meio do sistema rodoviário, visto que a sua produção econômica (grãos, carnes, produtos industrializados) é transportada por todo país através de caminhões, carretas e outros veículos terrestres, levando estes produtos para portos e centros de distribuição e suprindo as necessidades do país (TAIRA, 2001).

O pavimento é um revestimento formado por diversas camadas, sobre uma superfície, onde cada uma dessas camadas possui uma característica. O objetivo da pavimentação é visar a melhoria operacional do tráfego nas cidades, com uma superfície menos ruidosa, mais regular e aderente. A regularidade da superfície proporciona uma economia em tempos de viagem, pois há deslocamentos em maiores velocidades, maior segurança e menor custo operacional (ARAO, 2014).

O tráfego de veículos pesados é considerado o principal fator para a deterioração do asfalto e acaba sendo o item mais preocupante para a engenharia rodoviária. A fissuração por fadiga é um dos tipos de deterioração do asfalto, e é ocasionada por repetições das tensões de tração na parte inferior do revestimento, onde acarreta a formação de fissuras na capa do asfalto (TAIRA, 2001), podendo ocasionar a perda funcional do pavimento ou até a sua perda total (SANTANA, 2019), quando pode-se observar a deformação vertical excessiva ou afundamentos de trilhas de roda no qual chamamos de deformação permanente, como também há a fissuração por trincas térmicas, causadas por variações na temperatura. Estes são alguns mecanismos que discriminam a deterioração dos pavimentos asfálticos (TAIRA, 2001).

O trincamento por fadiga é causado por fatores externos como o carregamento repetitivo e a condição climática do local, o que acarreta a formação de fissuras e, conseqüentemente, a entrada de água no pavimento. Com esta entrada de água é reduzida a rigidez do sistema e aumentado o nível de deflexão asfáltica, pois as camadas desestabilizam (SANTANA, 2019). Estas deformações reduzem a qualidade global do pavimento sob a capacidade do ponto de vista estrutural, funcional ou de circulação (MINHOTO, 2007).

Os ensaios de fadiga é caracterizado por uma carga repetida que leva ao aumento das deformações de tração até o rompimento do corpo de prova, sendo realizado sob diferentes condições de temperatura, carregamento, dimensões da amostra, entre outros (SANTANA, 2019).

Os corpos de prova são amostras de pavimento que se pretende testar, onde na maioria das vezes, possuem suas características e dimensões de acordo com o tipo de ensaio que será feito. Dessa forma, os ensaios de trincamento por fadiga normalmente são realizados com corpos de prova prismáticos, à temperatura ambiente, onde são aplicadas forças de compressão opostas, e como consequências, são geradas tensões de tração perpendiculares (SANTANA, 2019).

Estudos feitos são feitos na europa desde 1980 sobre a utilização de telas de aço como reforço de pavimentos asfálticos. Com estes estudos, concluiu-se que a utilização de tela de aço em pavimentos traz alguns benefícios a este, pois a utilização acaba agindo como uma barreira contra a propagação de trincas, aumenta a resistência à fadiga e também ao cisalhamento do pavimento. (RESSUTTE, 2017).

O pavimento asfáltico, também pode ser caracterizado por possuir alta capacidade térmica, podendo ser chamado, relativamente, de bons condutores de calor quando comparados a outros pavimentos (ZHAO, 2014). Assim, esse pavimento absorve grandes quantidades de calor provenientes de radiação solar causando desconforto térmico para os usuários dos espaços urbanos, e provocando mudanças nas propriedades químicas e físicas do meio deixando o pavimento com trincas que podem levar a problemas em sua estrutura (DEL CARPIO, 2016).

A exposição do pavimento a radiações ultravioletas faz com que ele sofra fotodegradação físico-química, oxidando as moléculas constituintes do pavimento, o que faz com que aja a quebra destas moléculas, deixando o pavimento menos resistente á fadiga. (KORKIALA-TANTTU; RATHMAYER, 2005).

Uma das alternativas que podem contribuir para bloquear a radiação que chega no pavimento flexível é a arborização urbana, pois o seu sombreamento faz com que a superfície não absorva a radiação solar, evitando problemas futuros (NOWAK, 2000).

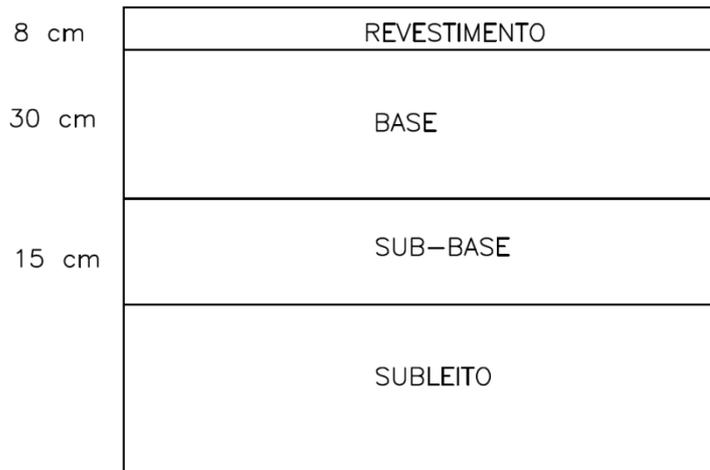
2.0. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Pavimentos Flexíveis

Os pavimentos são estruturas compostas por várias camadas cujo papel é resistir a esforços causados no solo, sendo assim, tem a função resistir a variações climáticas e esforços horizontais tornando-o mais durável e melhorando o conforto para a população (WALLAU, 2004).

Pavimentos flexíveis possuem em sua constituição camadas superiores formadas por material asfáltico (MINHOTO, 2007). Na maioria das vezes, a via é composta por 4 (quatro) camadas, sendo elas o revestimento, que é o objeto de análise deste trabalho, a base, sub-base e subleito, conforme as Figuras 1.

Figura 1 - Camadas componentes do Pavimento Flexível.



Fonte: do próprio autor.

O revestimento é constituído por uma mistura asfáltica, que é uma combinação entre ligante asfáltico e agregado mineral. Este ligante asfáltico possui diferentes comportamentos quando submetido a variadas temperaturas, o que pode levar a problemas no pavimento. O desempenho desta camada está ligado às propriedades de seus materiais individualmente e também da relação entre ligante e agregado (ARAO, 2014).

A camada de revestimento tem contato direto com as rodas dos veículos gerando grandes esforços de tração e compressão, assim é necessária uma boa resistência para que esta camada resista aos esforços horizontais que nela atuam (GALVÃO, 2017).

A base possui função estrutural, sua camada é maior em relação às anteriores e possui composição granular, normalmente brita graduada simples (GALVÃO, 2017).

Na maioria das vezes não é viável construir a base em cima do subleito, assim é feita a camada de sub-base para dar suporte à camada de base. A camada de sub-base, normalmente feita de brita, atua no sentido contrário aos esforços exercidos pela pista, onde estas forças atuam do subleito ao revestimento (GALVÃO, 2017).

O subleito, última camada, é constituído de solo natural regularizado. Nesta camada são aliviadas as tensões vindas do revestimento, devendo ser feito o estudo do solo e sua regularização mecanizada corretamente para que não ocorram patologias (GALVÃO, 2017).

Além disso, os pavimentos devem possuir um caráter funcional e estrutural. Assumindo um papel estrutural, os pavimentos possuem a função de degradar as cargas externas vindas dos veículos, reduzindo as tensões verticais a um valor aceitável à sua fundação, pois normalmente, as propriedades resistentes do solo de fundação não são compatíveis com o carregamento resultante das cargas de veículos e das ações climáticas (MINHOTO, 2007).

Considerando o caráter funcional, os pavimentos devem proteger o solo de fundação (subleito) da água da chuva, para permitir que este mantenha suas propriedades por um maior tempo. Assim, os pavimentos devem garantir uma superfície de aderência e resistência ao desgaste, possuindo sua superfície regular e resistente e garantindo a segurança e comodidade de circulação do tráfego (MINHOTO, 2007).

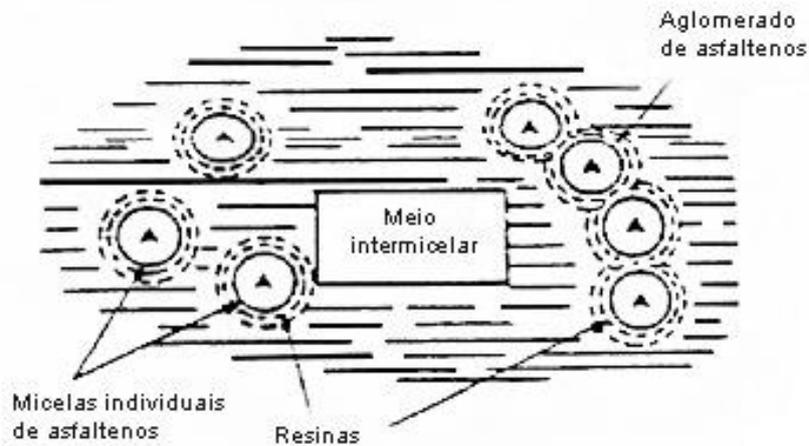
2.2. Revestimento Asfáltico:

O cimento asfáltico de petróleo (CAP), quando está submetido a temperaturas ambiente atua como um material negro, semi-sólido, pegajoso e muito viscoso (DE CEZARO JUNIOR, 2008), apresentando um comportamento termoplástico. Sendo assim, é necessário aquecer o asfalto para ele adquirir uma resistência adequada para uso, e quando resfriado retorna ao estado original (TAIRA, 2001).

A fórmula exata do ligante asfáltico, ou betume, é muito variável, sendo basicamente hidrocarboneto. O betume e também outras substâncias orgânicas é afetado pela presença de variações, de temperatura, de oxigênio e pela radiação ultravioleta (GONÇALVES, 1999).

A estrutura química do asfalto é definida como coloidal constituído por um meio intermicelar oleoso com micelas de asfaltenos dispersas, que são uma família de compostos orgânicos do petróleo, conforme mostrado na figura 2 (DE CEZARO JUNIOR, 2008).

Figura 2 - Estrutura Coloidal do cimento asfáltico.



Fonte: DE CEZARO JUNIOR, 2008.

A classificação dos cimentos asfálticos no Brasil é realizada tanto quanto pela sua viscosidade e quanto por sua penetração (TAIRA, 2001). A classificação quanto à viscosidade se manifesta quanto ao comportamento mecânico, sendo suscetível à velocidade, tempo, intensidade de carregamento e à temperatura de serviço (CASTRO, 2001).

Sabe-se que o cimento asfáltico de petróleo é totalmente solúvel em alguns compostos químicos (benzeno, tricoetileno ou bissulfeto de carbono), sendo estas propriedades utilizadas para os requisitos de classificação. Assim, eles são classificados em CAP-7 ($\eta = 700$ a 1500 poises), CAP-20 ($\eta = 2000$ a 3500 poises) e CAP-40 ($\eta = 4000$ a 8000 poises) quanto ao teste de viscosidade absoluta à 60° , temperatura escolhida por acreditar que expressa a máxima temperatura do pavimento asfáltico (CASTRO, 2001).

Quanto a sua classificação à penetração, os CAPs são classificados em relação ao ensaio de penetração feito, concluindo que quanto menor a penetração menos consistente é o CAP. Assim, são subdivididos em CAP 30/45, CAP 50/70, CAP 85/100, CAP 150/200 (CASTRO, 2001). Sendo assim, o CAP 30/45 é o menos consistente tendo penetração de 30 a 45 (0,1mm), o CAP 150/200 o mais consistente com penetração de 150 a 200 (0,1 mm) e CAP 50/70, CAP 85/100 com penetração de 50 a 70 (0,1mm) e 85 a 100 (0,1mm) respectivamente, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaio de Penetração do CAP, segundo a NBR 6576.

ENSAIO DE PENETRAÇÃO CAP							
Características	Unidade	Limites				Métodos	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 a 45	50 a 70	85 a 100	150 a 200	NBR 6576	D 5

Fonte: do próprio autor.

O cimento asfáltico de petróleo é um material termoplástico por apresentar diferenças na sua consistência quando há variações na temperatura, ou seja, seu manuseio é feito a quente e suas propriedades visco-elásticas voltam quando atingem temperatura ambiente. Quanto à sua visco-elasticidade, faz com que o cimento asfáltico apresente como propriedade mecânica a elasticidade, quando submetido a cargas de curta duração e a viscosidade, quando submetido a cargas de longa duração (TAIRA, 2001).

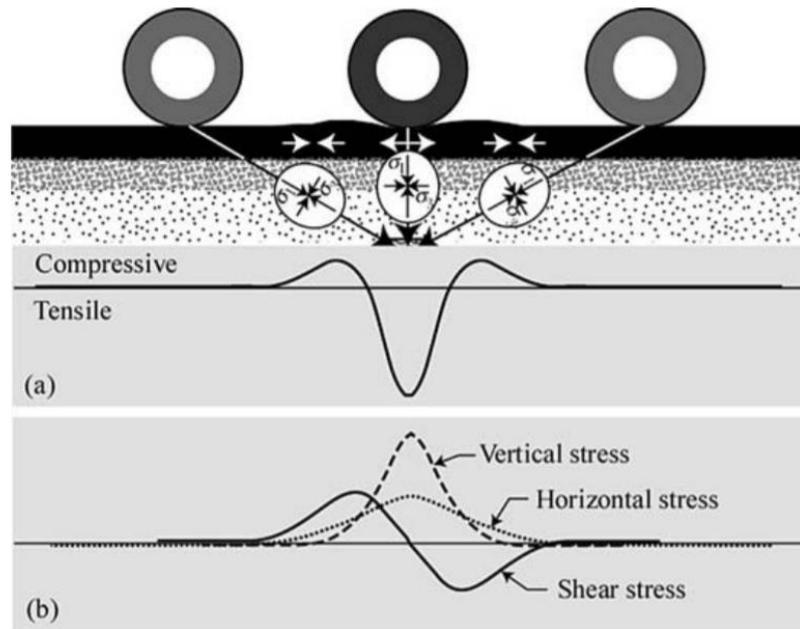
Além do mais, o CAP é um material que possui baixa reatividade química, possuindo oxigenação lenta à ação de variações da temperatura e do ar, o que garante sua boa durabilidade. Por ser um material impermeável, as águas pluviais escoam superficialmente, não penetrando no pavimento e garantindo a durabilidade de suas propriedades (TAIRA, 2001).

Suas características reológicas devem ser avaliadas com muito cuidado, pois tem influência direta no desempenho do pavimento. Contudo se estas propriedades forem adequadas às condições de tráfego e clima, produzirão ligantes asfálticos mais satisfatórios (DE CEZARO JUNIOR, 2008).

2.3. Comportamento Estrutural

Os solos e os materiais granulares de fundação têm comportamento de tensão-deformação influenciados por diversas variáveis, e a velocidade de aplicação das cargas juntamente com a temperatura deixam os materiais asfálticos sensíveis à essas propriedades (GONÇALVES, 1999).

Figura 3 - Efeitos produzidos no pavimento por uma carga de roda em movimento.



Fonte: DORÉ, 2009.

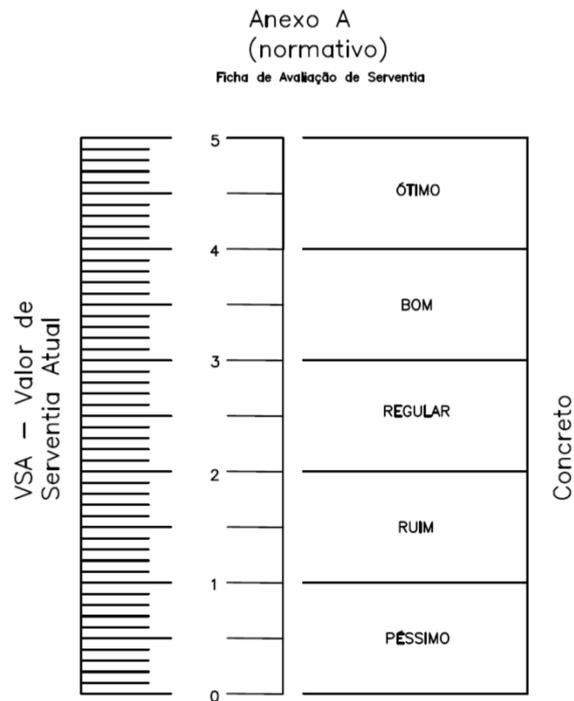
A Figura 3 mostra o esquema de tensões de cargas nos pavimentos flexíveis submetidas por rodas de veículos. A passagem de uma carga de roda gera tensões e deformações normais e cisalhantes, sendo essas com duplos sentidos e com reversão. Os planos principais sofrem rotação, assim, encontram com os planos horizontais e verticais apenas para os pontos situados no plano longitudinal da carga de roda e quando o plano se encontra ao logo da vertical que passa pelo centro da carga (GONÇALVES, 1999).

Com as passagens de veículos, estes efeitos descritos vão se repetindo sucessivamente podendo gerar a fadiga dos materiais, levando à sua ruptura total com sucessivos carregamentos (FRANCO 2013).

2.4. Fatores que Alteram o Desenvolvimento:

Para o dimensionamento de pavimentos flexíveis devem ser considerados os critérios que gerem falhas na estrutura durante a vida de projeto ou os que afetem o nível de serventia do pavimento. O nível de serventia é atribuído dentro de um veículo de passeio por cinco avaliadores, determinando o estado da superfície do pavimento quanto ao seu conforto de rolamento (MATTOS, 2014).

Figura 4 - Nível de Serventia normalizado pelo DNIT (2003).



Fonte: DNIT, 2003.

A Figura 4, ilustra o nível de serventia atual normalizado pelo DNIT (2003) variando os valores em perfeitas condições (ótimo), nota cinco, ou em péssimas condições, nota zero.

Este valor de serventia implicará na probabilidade de sucesso do pavimento, ou seja, na medida em que o pavimento irá obter condições satisfatórias ao longo de sua vida de serviço. Para avaliar sua confiabilidade, é necessário entender os diversos fatores que alteram o seu desenvolvimento (DA MOTTA, 1991).

Os pavimentos flexíveis degradam-se ao longo do tempo devido a variações climáticas e ações do tráfego. Estas degradações levam à redução da qualidade como um todo dos pavimentos, sob o ponto de vista estrutural e também sobre o ponto de vista funcional (MINHOTO, 2007).

Existem diversos fatores que afetam o desenvolvimento dos pavimentos flexíveis, dentre eles estão a quantidade e a magnitude das cargas de tráfego, as propriedades dos materiais que compõe as suas camadas e as condições de drenagem e aspectos ambientais. Contudo, o desempenho estrutural dos pavimentos podem ser determinados através do módulo da elasticidade efetivo de uma ou mais camadas do pavimento (GONÇALVES, 1999).

2.5. Principais mecanismos de deterioração de pavimentos flexíveis:

2.5.1. Trincamento por Fadiga:

A maioria dos casos de fadiga nos pavimentos flexíveis são decorrentes de repetições de esforços submetidos ao pavimento. Dependendo do sentido do desenvolvimento destes esforços, o trincamento por fadiga pode ser isolado ou ramificado, longitudinal ou transversal (FERNANDES, 2016).

Existem casos onde a repetição de cargas gera a flexão no revestimento, ou seja, podem aparecer fissuras na fibra inferior que se expandem até chegar ao pavimento, este fenômeno da origem ao trincamento por fadiga de baixo para cima (FERNANDES, 2016).

Figura 5 - Trincas Isoladas.



Fonte: (FONTES, 2001).

Figura 6 - Trincas ramificadas.



Fonte: (FONTES, 2001).

A repetição de cargas de tráfego geram a formação e crescimento de trincas nas camadas asfálticas decorrentes da fadiga provocada (GONÇALVES, 1999). As trincas no revestimento asfáltico são os defeitos mais comuns, normalmente ocorrem com o surgimento de trilhas de rodas dos veículos pesados na direção longitudinal da via (Figura 5), e seu estado final caracteriza-se por trincas tipo pele de crocodilo (Figura 6), onde estas trincas longitudinais evoluem para ramificadas. Há também o caso de trincas transversais, originadas e trincas ramificadas (FONTES, 2001).

2.5.2. Afundamentos de Trilhas de Rodas:

A geração de afundamentos de trilhas de rodas é decorrentes de deformações plásticas (permanentes) em todas as camadas devido à repetição de cargas de tráfego (GONÇALVES, 1999). As deformações que geram os afundamentos de trilhas de roda (Figura 7) desenvolvem-se gradualmente com o aumento das solicitações de cargas por eixo e aparecem como depressões laterais de trilhas de roda. As consequências dessa irregularidade no pavimento são a diminuição do conforto dos usuários e o aumento do custo operacional dos veículos (FONTES, 2001).

Figura 7 - Afundamento de Trilhas de Roda.



Fonte: FONTES, 2001.

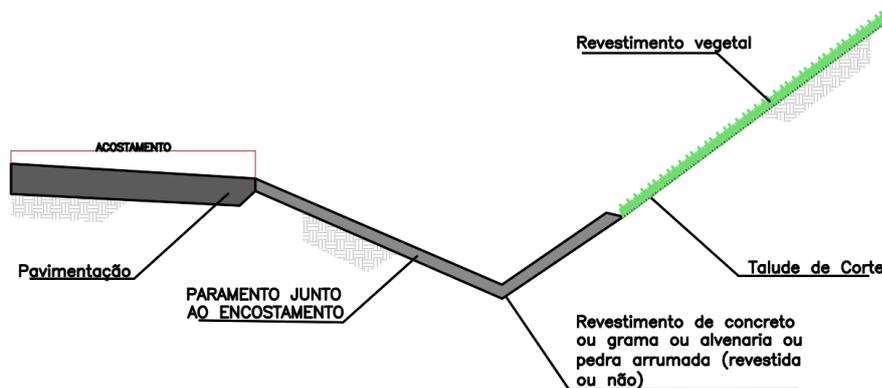
O desenvolvimento destas deformações é caracterizado pelo aumento da sua profundidade e pelo aparecimento de outros tipos de defeitos. Além disto, essas profundidades são preocupantes, pois se forem maiores de 5mm podem causar aquaplanagem além de proporcionar maior insegurança na via ((FONTES, 2001).

2.5.3. Influência dos Fatores Climáticos nos Pavimentos:

O desempenho dos pavimentos pode ser comprometido pelas variações climáticas, sendo assim, essas variações podem reduzir sua durabilidade e afetar diretamente na resistência física dos pavimentos às variações de cargas (GALVÃO, 2017).

Os pavimentos flexíveis devem ser muito impermeáveis para impedir a entrada de água em suas camadas. Dessa forma, a sua faixa de rolamento deve ser abaulada para garantir que toda a água escoe para as sarjetas. Quando há entrada de água no pavimento ela ocasiona ações físico-químicas (oxidação) que enrijecem o pavimento e os deixa mais frágeis (GALVÃO, 2017).

Figura 8 - Drenagem faixa de rolamento (sarjeta).



Fonte: GALVÃO, 2017.

A Figura 8 ilustra o eixo de rolamento de uma via para que a água possa escoar com maior facilidade no sentido dos elementos de drenagem. Sendo assim, ela representa o eixo de rolamento da via mais elevado e os acostamentos mais inclinados (GALVÃO, 2017).

A deformação permanente do pavimento asfáltico acontece na maioria das vezes no verão, onde em altas temperaturas a viscosidade do ligante diminui e o carregamento do tráfego é suportado pelo agregado mineral (FONTES, 2001).

Além disso, o envelhecimento dos ligantes depende das condições climáticas, com destaque para a exposição à luz solar no processo chamado de fotodegradação. O Brasil possui posição uma geográfica que o habilita a receber uma grande quantidade de luz solar e em alta intensidade na maior parte do ano. O pavimento asfáltico exposto a esse tipo de radiação acaba sofrendo fotodegradação físico-química de suas estruturas moleculares levando a uma redução na sua resistência à fadiga (KORKIALA-TANTTU; RATHMAYER, 2005).

A incidência da radiação solar no pavimento flexível faz com que ele sofra uma fotodegradação, aumentando a oxidação das moléculas, ocorrendo a quebra das moléculas, isso faz com que aumente a viscosidade e diminua a resistência, favorecendo a formação de trincas (KORKIALA-TANTTU; RATHMAYER, 2005).

A diminuição da temperatura pode ocasionar retraimento nas misturas asfálticas gerando trincas, porém este fenômeno não ocorre comumente no Brasil por não termos temperaturas muito baixas (VIDOTTO, 2012). Por outro lado, a fotodegradação das camadas mais superiores do asfalto ocasiona quebras das moléculas dos hidrocarbonetos constituintes que ficam mais suscetíveis a rachaduras e deterioração, o que diminui, significativamente, a vida útil do pavimento.

3.0. OBJETIVO:

3.1. Objetivos Gerais:

O presente trabalho tem como objetivos gerais:

- a) Buscar alternativas de montagem asfálticas de maior resistência à deterioração e com boa relação custo-benefício por meio da introdução de telas de metálicas e/ou malhas poliméricas.
- b) Analisar o custo benefício para implantação de proteção asfáltica contra a fotodegradação por meio de árvores.

3.2. Objetivos Específicos:

Como objetivos específicos buscaremos:

- a) Desenvolver um sistema de montagem para revestimento asfáltico com resistência superior que a montagem convencional;
- b) Testar a degradação asfáltica por meio de radiação ultravioleta;
- c) Levantar a relação custo-benefício de implantação de um sistema de proteção asfáltica contra luz solar através do sombreamento promovido por árvores.

4.0. JUSTIFICATIVA:

Como visto anteriormente, a degradação dos pavimentos flexíveis está ligada ao aumento do número do tráfego de veículos, temperatura, radiação solar e cargas de roda. Sabemos também, que no cenário atual os recursos financeiros para manutenção ou até mesmo aplicação de um asfalto mais resistente é limitado e insuficiente para manter as estradas em condições boas de uso (RESSUTTE, 2017).

A utilização de materiais mais resistentes para a construção e restauração de pavimentos flexíveis nos traz uma proposta de aumentar a resistência destes, prolongando a vida útil da camada de revestimento, como consequência prolongando também a vida útil das demais camadas tornando-os seguros. Obviamente devemos buscar uma relação custo-benefício que justifique a utilização (CORREIA, 2010). O intuito é diminuir os esforços solicitantes nas camadas dos pavimentos, diminuindo sua deterioração e o trincamento por fadiga (RESSUTTE, 2017).

Desde 1980 tem sido estudada a técnica de utilização de telas de aço em pavimentos flexíveis, como reforço das camadas betuminosas, aumentando a capacidade de carga do pavimento. Seu objetivo é aperfeiçoar as estradas aumentando seu tempo de vida útil, tornando uma estrutura mais econômica, necessitando de menos manutenção (KORKIALA-TANTTU; RATHMAYER, 2005).

Normalmente, as telas de aço são utilizadas em pavimentos flexíveis, onde a posição de sua estrutura é um fator que altera o desenvolvimento dos pavimentos. Alguns países europeus como Islândia, Itália e Suécia, tem adotado telas de aço em suas estradas. Estudos feitos nas rodovias relataram que o estudo feito com telas de aço e recapeamento em asfalto trouxeram resultados satisfatórios (BÜHLER, 2007).

Após diversos estudos feitos, conclui-se que a aplicação da tela de aço na parte superior do pavimento reduz a formação de trilhas de roda e o aparecimento de trincas, e a colocação da tela de aço entre a camada de revestimento e a base aumenta sua capacidade de carga. Conclui-se também que sua instalação deve ser feita no sentido longitudinal e seus extremos devem ter uma sobreposição adequada. Após a colocação da tela, a compactação de misturas asfálticas deve ser realizada com cilindros de pneus (RESSUTTE, 2017).

O projeto REFLEX, foi iniciado em março de 1999 e realizado durante um período de 3 anos, onde muitos países europeus participaram, sendo financiados pela União Européia. Seu objetivo foi desenvolver uma nova técnica para construção e restauração de estradas com o uso de telas de aço, fazendo com que os pavimentos rodoviários tivessem um maior tempo de vida útil, necessitando de menos manutenção (RESSUTTE, 2017).

Durante o projeto, foram realizados diversos experimentos nas rodovias europeias, sob diferentes condições de clima e tráfego, com a finalidade de comparar o comportamento dos pavimentos reforçados com tela metálica e os não reforçados. Os resultados destes experimentos trouxeram a conclusão que a tela de aço na pavimentação atua como reforço da estrutura, aumentando sua vida útil, porém os testes realizados não foram completos uma vez que não se verificou a influência de fotodegradação e termodegradação, além de não testar

diferentes tipos de telas para verificar qual a melhor tela a se utilizar (VIDOTTO; FONTENELE, 2012).

Esta pesquisa também forneceu um modelo adequado para o efeito de análise estrutural do pavimento. Além disso, concluiu-se que a tela de aço é de baixo custo para evitar trincas longitudinais. Por ser muito complexo, não existem abordagens teóricas eficientes para descrever a interação da tela de aço com o asfalto. Assim, foram feitos modelos mais simples a fim de descrever algumas características do asfalto junto a tela de aço (RESSUTTE, 2017).

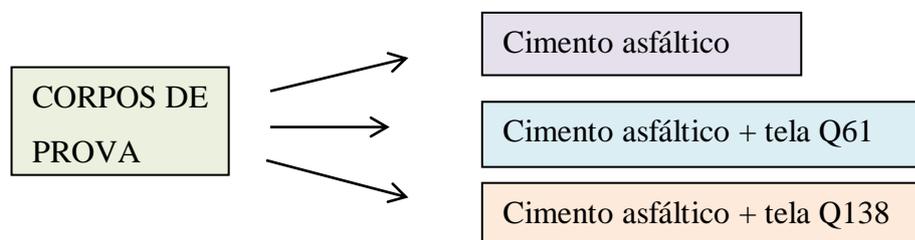
Alguns ensaios foram feitos no projeto REFLEX, com a finalidade de comparar os corpos de prova com tela de aço e os sem tela de aço, para produzir informações e parâmetros para os trabalhos seguintes (RESSUTTE, 2017).

5.0.METODOLOGIA:

Nesta seção, iremos descrever os procedimentos que serão feitos para a análise do cimento asfáltico quanto ao ensaio de fadiga, deformação permanente e formação de fissuras.

Faremos corpos de prova com o betume convencional (CAP 50/70), de origem brasileira e usaremos dois tipos telas de aço para a análise: Q61 e Q138. A tela Q61 é uma tela soldada, com malha 15x15cm, fios 3,4x3,4cm e peso de 0,96 kg/m², já a tela Q138 também é uma tela soldada, com malha 10x10cm, fios 4,2x4,2cm e peso de 2,20 kg/m². Assim, teremos 3 tipos de corpos de prova: apenas com cimento asfáltico, com cimento asfáltico e tela de aço Q61 e com cimento asfáltico e tela Q138.

Figura 9 - Tipos de Corpos de prova utilizados.



Fonte: do próprio autor.

Para a análise da termo degradação do asfalto a quente, faremos o teste colocando os corpos de prova ao forno com ar pré-aquecido soprando continuamente nos corpos de provas, onde estas amostras serão aquecidas a uma temperatura de 163°C por 85 minutos.

A foto-degradação será analisada em um meterômetro Atlas Ci-65 de xenônio (instrumento Atlas), por 500, 1000, 1500 e 2000 horas. Esta câmara usa fonte de luz de arco xenônio artificial (340 nm), com filtros internos e externos de borossilicato. As amostras serão submetidas ao seguintes ciclos: exposição à lâmpada de xenônio por 64 min e exposição à radiação de xenônio e jato d'água por 16 min.

Ensaio de Fadiga:

O ensaio de fadiga será realizado conforme preconiza a norma AASHTO TP8 (1994), com o equipamento modelo CS 7800, dentro do qual se encontra um dispositivo que permite a realização de ensaios de flexão alternada em 4 pontos.

As amostras serão provetes prismáticos, com a dimensão média: 381,0 mm de comprimento, 50,8mm de altura e 63,5 mm de largura. Estes provetes prismáticos serão simplesmente apoiados nas extremidades, onde serão submetidos a um carregamento sinusoidal alternado em extensão controlada, num sistema de carregamento central em dois pontos.

A carga de intensidade $F_0/2$ é aplicada nos terços médios do provete, de modo a induzir uma extensão de tração predefinida. Para a avaliação da vida de fadiga, será realizada 3 repetições para cada um dos níveis de extensões selecionadas (200, 400 e 800 $\mu\text{m}/\text{m}$), com uma frequência de 10 Hz.

Sendo assim, serão feitos 9 corpos de provas diferentes: 3 provetes apenas com cimento asfáltico, 3 provetes cimento asfáltico e tela Q61 e 3 provetes com cimento asfáltico e tela Q138.

Assim, serão realizados os ensaios:

Tabela 2 - Ensaios realizados no teste de fadiga.

ENSAIOS REALIZADOS			
ENSAIOS	CORPO DE PROVA	SEM PRESEÇA DE LUZ DE XENONIO	COM A PRESEÇA DE LUZ DE XENONIO
ENSAIO 1	Cimento Asfáltico	X	
ENSAIO 2	Cimento Asfáltico		X
ENSAIO 3	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q61	X	
ENSAIO 4	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q61		X
ENSAIO 5	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q138	X	
ENSAIO 6	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q138		X

Fonte: do próprio autor.

O intuito deste experimento é verificar qual papel que a luz solar pode atuar na degradação asfáltica e como se comportam os diferentes tipos de telas na diminuição dessa degradação por fadiga ocasionada pela luz.

Deformação Permanente:

A determinação da tensão permanente será realizada através do ensaio de corte simples e altura constante RSST-CH, padronizado pela ASSHTO TP7-01. Este ensaio será realizado sobre provetes cilíndricos com 15 cm de diâmetro por 5 cm de espessura, aplicando-se repetidamente um esforço de corte de 70 kPa durante 0,6 segundos de um período de repouso de 0,1 segundo.

Serão feitos 9 amostras de provetes cilíndricos: 3 provetes apenas com cimento asfáltico, 3 provetes cimento asfáltico e tela Q61 e 3 provetes com cimento asfáltico e tela Q138.

Após a obtenção dos provetes cilíndricos, o primeiro procedimento é a colagem dos mesmos aos pratos do equipamento em uma prensa em que garante o paralelismo dos dois pratos colados ao provete.

O equipamento utilizado é o modelo CS 75005. Para a realização do ensaio RSST-CH é utilizado dois atuadores mecânicos, em horizontal e outro na vertical. O atuador horizontal controlará a magnitude das tensões de corte aplicadas enquanto que o atuador vertical garante que o provete, ensaiado sob tensão controlada, mantenha a altura constante durante o ensaio. Serão realizadas 8 repetições em cada mistura.

Sendo assim serão feitos:

Tabela 3 - Ensaios realizados no teste de deformação permanente.

ENSAIOS REALIZADOS			
ENSAIOS	CORPO DE PROVA	SEM PRESENÇA DE LUZ DE XENONIO	COM A PRESENÇA DE LUZ DE XENONIO
ENSAIO 1	Cimento Asfáltico	X	
ENSAIO 2	Cimento Asfáltico		X
ENSAIO 3	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q61	X	
ENSAIO 4	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q61		X
ENSAIO 5	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q138	X	
ENSAIO 6	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q138		X

Fonte: do próprio autor.

Este experimento será feito com o objetivo de avaliar a deformação do pavimento quando submetido a cargas de roda, avaliando também seu comportamento com diferentes tipos de aço e suas características quando submetido à elevadas temperaturas.

Reflexão de Trincas:

O ensaio de reflexão de trinca será realizado para quantificar o efeito do reforço das telas de aço utilizadas com o objetivo de observar o surgimento das trincas nas camadas asfálticas. Sendo assim, serão moldadas placas com dimensão de 700x500x60 mm, onde estas serão submetidas a uma carga repetidas.

Serão feitos 3 tipos de placas: apenas com cimento asfáltico, cimento asfático e tela de aço Q61 e cimento asfático e tela de aço Q138.

Sendo assim, serão feitas 9 placas de amostras: 3 placas apenas com cimento asfáltico, 3 placas cimento asfático e tela Q61 e 3 placas com cimento asfático e tela Q138.

Iremos simular a interferência das camadas com as cargas de tráfego no surgimento de trincas nos pavimentos. Serão medidas as deformações transversais e longitudinais com extensômetros sobre as placas.

O teste será realizado com uma pressão de pneus de 0,6 Mpa, onde diferentes cargas serão utilizadas com o objetivo de ter como resultado diferentes níveis de tensão.

Assim serão feitos:

Tabela 4 - Ensaios realizados no teste de reflexão a trincas.

ENSAIOS REALIZADOS			
ENSAIOS	CORPO DE PROVA	SEM PRESENÇA DE LUZ DE XENONIO	COM A PRESENÇA DE LUZ DE XENONIO
ENSAIO 1	Cimento Asfáltico	X	
ENSAIO 2	Cimento Asfáltico		X
ENSAIO 3	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q61	X	
ENSAIO 4	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q61		X
ENSAIO 5	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q138	X	
ENSAIO 6	Cimento Asfáltico + Tela de Aço Q138		X

Fonte: do próprio autor.

6.0. CRONOGRAMA E ORÇAMENTO:

Foi feito uma estimativa de tempo para realização das atividades para concluir o projeto e também uma estimativa de valores, seguindo as tabelas abaixo:

Tabela 5 – Cronograma.

CRONOGRAMA:												
Atividades desenvolvidas:	Mês											
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
Estudo de artigos Estado da Arte	■	■	■	■								
Produção dos Corpos de Prova					■							
Experimentos de Fotodegradação						■	■					
Experimentos de Fadiga							■	■				
Análise Inicial de dados								■	■			
Experimentos de Deformação Permanente									■			
Experimento de Formação de Fissuras										■		
Análise dos dados											■	
Escrita final dos resultados obtidos												■

Fonte: do próprio autor.

7.0.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ARAO, Mieka. Análise da vida de fadiga de pavimentos flexíveis em diferentes misturas. 2014.

AASHTO TP-01, Standard Test Method for Determining Permanent Shear Strain and Stiffness of Asphalt Mixtures Using the Superpave Shear Tests (SST). American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C., USA, 2001.

AASHTO TP8, (Reapproved 1996, Reconfirmed in 2001). Standard Test Method for Determining the Fatigue Life of Compacted Hot-Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending). Standard based on SHRP Product 1019. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C., USA, 1994.

BÜHLER, A. Estudo do efeito de grelhas de reforço na restauração de pavimentos. São José dos Campos-SP-Brasil: ITA, 2007.

CASTRO, Bruno Almeida Cunha de. Construção de estradas e vias urbanas. Belo Horizonte: Bruno Almeida Cunha de Castro, 2001.

CORREIA, Natália de Souza. Comportamento de geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica usados como sistema anti-reflexão de trincas. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. 2010.

DA MOTTA, Laura Maria Goretti. Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis: critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas. **Tese de Doutorado**. Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1991.

DE CEZARO JUNIOR, Tadeu. Estudo das propriedades mecânicas de misturas asfálticas convencionais e modificadas. 2008.

DEL CARPIO, Joe Arnaldo Villena *et al.* Urban pavements used in Brazil: Characterization of solar reflectance and temperature verification in the field. **Solar Energy**, v. 134, p. 72-81, 2016.

DNIT, DNIT. 006/2003-PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos- Procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003.

DORÉ, Guy; ZUBECK, Hannele K. Cold regions pavement engineering. 2009.

FERNANDES, Wagner Dambrós *et al.* Análise Comparativa entre os Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do Brasil e o Método da AASHTO. 2016.

FONTES, Liseane Padilha Thives da Luz *et al.* Contribuição à investigação geotécnica de vias urbanas não pavimentadas através do emprego do penetrômetro dinâmico de cone. 2001.

FRANCO, F. A. C. P. Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos–SisPav. COPPE. Rio de Janeiro, p. 318, 2007.

GALVÃO, Pereira; CORDEIRO, Vitor. Avaliação das características físicas do pavimento flexível de um trecho na Asa Norte, Brasília/Distrito Federal. 2017.

GONÇALVES, Fernando Pugliero. O desempenho dos pavimentos flexíveis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 1999.

KORKIALA-TANTTU, L.; RATHMAYER, H. Steel Grids, an Efficient Way to Improve the Durability of the Pavement. In: **Proceedings of the international conferences on the bearing capacity of roads, railways and airfields**. 2005.

MATTOS, João Rodrigo Guerreiro. Monitoramento e análise do desempenho de pavimentos flexíveis da ampliação da rodovia BR-290/RS: a implantação do Projeto Rede Temática de Asfalto no Rio Grande do Sul. 2014.

MINHOTO, Manuel. Consideração da temperatura no comportamento à reflexão de fendas dos reforços de pavimentos rodoviários flexíveis. 2007.

NOWAK, David J.; CRANE, Daniel E. The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In: Hansen, Mark; Burk, Tom, eds. Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: US Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 714-720., v. 212, 2000.

RESSUTTE, Ailton Frank Barbosa. Estudo de desempenho de pavimento asfáltico reforçado com tela de aço em rodovia no Estado de São Paulo. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. 2017.

SANTANA, Andher Paulo Capanema *et al.* Aplicação do ensaio IDEAL-CT para avaliação da resistência à fadiga de misturas asfálticas densas com CAP convencional e modificado por polímero. 2019.

TAIRA, Claudio. Avaliação do desempenho em laboratório de misturas asfálticas densas utilizando asfalto convencional (CAP-20) e asfalto modificado com polímero SBS (betuflex b 65/60). **Dissertação de Mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2001.

VIDOTTO, Juliana Pavan; FONTENELE, Heliana Barbosa. Efeito da variação da espessura do revestimento nas respostas estruturais do pavimento flexível. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 34, n. 2, p. 155-166, 2012.

WALLAU, Juliano Reis. Avaliação da técnica de estabilização granulométrica como revestimento primário de rodovias não pavimentadas. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Curso de Engenharia Civil–UNIJUÍ–Ijuí, 2004.

ZHAO, Shaohui *et al.* Comparative proteomic analysis of *Saccharomyces cerevisiae* under different nitrogen sources. **Journal of proteomics**, v. 101, p. 102-112, 2014.