



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO - UNIFAMETRO
ENGENHARIA CIVIL**

**ANA VALESKA DE SOUSA MENDES
HILTON ROCHA LIMA JUNIOR**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA VIABILIDADE E CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE O
PAVIMENTO FLEXÍVEL E O PAVIMENTO RÍGIDO**

**FORTALEZA
2023**

ANA VALESKA DE SOUSA MENDES
HILTON ROCHA LIMA JUNIOR

ANÁLISE COMPARATIVA DA VIABILIDADE E CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE O
PAVIMENTO FLEXÍVEL E O PAVIMENTO RÍGIDO

Artigo TCC apresentado ao curso de Bacharel em Engenharia Civil do Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO – como requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob a orientação do Professor Dr. Marcos Abilio Medeiros de Saboia.

FORTALEZA

2023

ANA VALESKA DE SOUSA MENDES

HILTON ROCHA LIMA JUNIOR

ANÁLISE COMPARATIVA DA VIABILIDADE E CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE O
PAVIMENTO FLEXÍVEL E O PAVIMENTO RÍGIDO

Artigo TCC apresentado no dia 15 de maio de 2023 como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil do Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO – tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

BANCA EXAMINADORA

Professor Doutor Marcos Abilio Medeiros de Saboia
Orientador – Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza

Professor Especialista Kaio Gefferson de Almeida Mesquita
Membro interno - Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza

Professor Mestre Guilherme Paiva Rebouças
Membro externo - Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza

Ao nosso querido professor e orientador Marcos Abilio, somos gratos por sua sabedoria e orientação valiosa. Obrigado por ser nosso guia nessa jornada acadêmica

AGRADECIMENTOS

Com gratidão em nossos corações, iniciamos agradecendo a Deus por nos sustentar e guiar em cada etapa desta jornada de realização do nosso TCC. Agrademos também aos nossos amigos e familiares pelo incentivo e suporte incondicional ao longo dessa jornada. Sem o apoio de vocês, não teríamos alcançado esse marco. Por fim, agrademos a todos os professores e profissionais que dedicaram seu tempo e conhecimento para revisar e fornecer feedback sobre o nosso trabalho.

Você pode encarar um erro como uma besteira a ser esquecida, ou como um resultado que aponta uma nova direção.

Steve Jobs

ANÁLISE COMPARATIVA DA VIABILIDADE E CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE O PAVIMENTO FLEXÍVEL E O PAVIMENTO RÍGIDO

Ana Valeska de Sousa Mendes¹

Hilton Rocha Lima Junior²

Marcos Abilio Medeiros de Saboia³

RESUMO

A pavimentação é parte importante de qualquer projeto de construção que envolva malhas rodoviárias. Nesse sentido, conhecer e entender os tipos de pavimento existentes se torna primordial para tomar a decisão correta e ter um orçamento condizente com o que se espera. O presente trabalho apresenta a análise de viabilidade da utilização do pavimento rígido em detrimento do pavimento flexível. Por meio de uma revisão sistemática do tipo metassíntese, 17 artigos foram selecionados durante a pesquisa, porém somente 6 tinham conteúdo necessário para a abordagem do assunto pesquisado e foram selecionados para compor os resultados do estudo. De acordo com os resultados dos estudos apresentados, pode-se observar que como o custo-benefício do pavimento rígido se torne a melhor opção de médio e longo prazo e a existência de uma relação inversamente proporcional entre os casos, onde o pavimento rígido possui custo maior de implementação e custo menor de manutenção, enquanto o pavimento flexível é mais barato para implementar, porém mais custoso para manter. Mesmo assim, vale ressaltar que uma análise ainda mais detalhada para tratar sobre questões específicas de cada região em que o pavimento vai ser aplicado, por existir uma larga diferença de aplicação a depender da região.

Palavras-chave: Pavimentação. Pavimento flexível. Pavimento rígido.

¹ Graduanda do curso de Engenharia Civil pelo Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO.

² Graduando do curso de Engenharia Civil pelo Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO.

³ Prof. Orientador do curso de Engenharia Civil do curso de Engenharia Civil pelo Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO.

ABSTRACT

Paving is an important part of any construction project involving road networks. In this sense, knowing and understanding the existing types of pavements becomes essential to make the right decision and have a budget consistent with what is expected. The present work presents the feasibility analysis of the use of rigid pavement instead of flexible pavement. Through a systematic review of the meta-synthesis type, 17 articles were selected during the search, but only 6 had the necessary content to approach the researched subject and were selected to compose the study results. According to the results of the studies presented, it can be observed that as the cost-benefit ratio of the rigid pavement becomes the best medium and long-term option and the existence of an inversely proportional relationship between the cases, where the rigid pavement has cost higher implementation cost and lower maintenance cost, while flexible pavement is cheaper to implement but more costly to maintain. Even so, it is worth noting that an even more detailed analysis is required to address specific issues in each region where the pavement will be applied, as there is a wide difference in application depending on the region.

Key words: Paving. Flexible pavement. Rigid pavement.

1 INTRODUÇÃO

Dentro do mercado de construção civil e de obras públicas, a pavimentação perdura como uma das atividades principais dentro do crescimento urbano de uma cidade, estado ou país. Nesse sentido, toda e qualquer obra passa por um estudo de técnico de engenharia, considerando qual será sua ligação direta com o mesmo e como pode ser estruturada para se adequar aos seus padrões (RODRIGUES FILHO, 2006).

Tal necessidade de estudo evidencia que a pavimentação é tratada como parte importante do processo, justificado pela variedade de opções de pavimentos existentes. Atualmente, facilmente, é possível encontrar até três tipos de pavimentos, sendo eles o rígido, o semirrígido e o flexível, sendo o último o mais utilizado entre os três.

Apesar de ser o tipo de pavimento mais conhecido, o pavimento flexível apresenta alguns questionamentos quanto ao seu custo-benefício. Por exemplo, chega a ser quase 70% menos durável que o pavimento do tipo rígido, além de apresentar um custo maior para realização de suas manutenções (FIGUEIREDO, 2016).

A manutenção é parte importante da discussão sobre os tipos de pavimento, visto que é um dos pontos mais vantajosos do pavimento tipo rígido. Ao contrário do que é visto no pavimento flexível, o pavimento rígido depende de um número muito menor de manutenções para ser considerado utilizável dentro das construções (PITTA, 1999).

É preciso entender a manutenção como parte integrante de qualquer ação realizada, ainda que os materiais utilizados sejam os melhores naquele momento. No entanto, convém analisar a necessidade de realização de manutenções com periodicidade mais curta, ou seja, decorrentes de materiais e aplicações que necessitam de maior cuidado, acompanhamento e tempo das equipes envolvidas.

Além dos custos de manutenção, o valor final do processo também se torna mais alto no pavimento flexível. Por conta disso, é comum que pavimentações fiquem mais tempo do que o previsto na fila de espera para serem implementados, graças ao custo que se torna maior do que o economicamente viável (LAFATE, [s.d]).

Os custos de pavimentação possuem um impacto direto na possibilidade de execução das principais obras em diversas regiões. Por conta disso, torna-se comum

que diversas regiões passem muito mais tempo sem provimento de pavimento, visto que se torna um processo mais caro e oneroso para as instituições envolvidas (ZATARIN et al., 2017).

Apesar do asfalto flexível ser o mais utilizado hoje em dia, e o mais conhecido, o pavimento rígido vem se mostrando uma opção bastante viável e com capacidade de gerar resultados iguais ou melhores que o anterior relacionado a durabilidade, manutenção, capacidade de suporte, reflexão a luz e resistência ao clima. Dessa forma, o entendimento sobre o material rígido e quais suas principais vantagens se torna importante para discussões sobre o tema.

Diante do exposto, o objetivo principal do presente trabalho é realizar uma análise comparativa da viabilidade da utilização do pavimento rígido e do pavimento flexível. Além disso, para que o objetivo geral seja atingido, foram determinados os seguintes objetivos específicos: (i) apresentar o pavimento rígido e o flexível em suas principais características; (ii) realizar uma comparação financeira entre o pavimento rígido e o flexível; (iii) apresentar uma comparação do custo-benefício do asfalto flexível em relação pavimento rígido.

O presente trabalho se justifica na necessidade de discussão sobre o tema de pavimentação, principalmente se considerado o setor público do país. Por ser um sistema que depende financeiramente de diversos fatores, encontrar soluções mais convidativas se torna uma possível recurso para os problemas de asfalto nas principais regiões.

Por isso, para que seja possível a discussão entre os melhores tipos de pavimentação, se faz necessária a apresentação dos tipos de pavimentos rígido, flexível e semirrígido. Bem como das principais normas regulamentadoras que regem suas utilizações.

2 TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

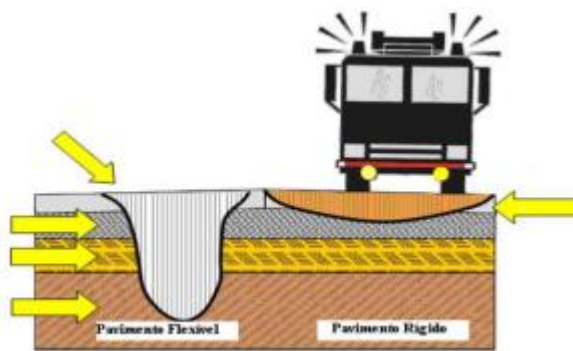
A indústria de construção civil é um dos setores que mais crescem no país, e suas atividades estão sempre no topo das economias mundiais. Por conta disso, é comum que suas principais atividades passem por reformulações a fim de adequá-las em tecnologias mais avançadas. Uma dessas atividades é a pavimentação, que passa por uma migração nas tecnologias adotadas.

2.1 Tipos de pavimento

A divisão de pavimento mais conhecida é a que está disposta no DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) (2010), que divide o pavimento em três grandes grupos: pavimentos rígidos, semirrígidos e flexíveis.

A Figura 1 apresenta o que os tipos de pavimento possuem entre si: a ação das forças nos dois pavimentos. Nessa figura, pode-se perceber a deformação do pavimento tanto rígido quanto flexível.

Figura 1 – Aplicação das forças nos tipos de pavimento



Rene (2016).

2.1.1 Pavimento flexível

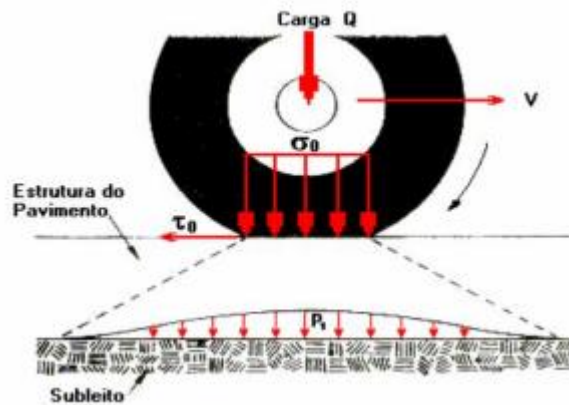
Presente em todo e qualquer projeto de construção civil, o pavimento flexível é parte importante na composição completa de determinada formação. Para isso, se utiliza do chamado CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), um material do tipo ligante, com características de ser termoplástico e viscoelástico, além de não ter permeabilidade com a água.

Na prática, o grande objetivo por trás dos processos de pavimentação se resume a receber esforços da superfície e transmitir esses esforços aliviando a pressão para as camadas inferiores. Esse trabalho é primordial para o funcionamento do sistema, visto que as camadas inferiores apresentam sempre uma resistência menor, possibilitando desgaste na estrutura (BALBO, 2017).

Com isso, pode-se entender que um processo de pavimentação se resume a uma obra civil com objetivo de melhoria do tráfego de determinada região ou até mesmo de uma cidade inteira (TAVARES, 2013).

Na Figura 2 pode-se visualizar a atuação dos esforços presentes no pavimento flexível, em todas as suas camadas.

Figura 2 – Atuação do esforço no pavimento



Fonte: Balbo, 2017.

A composição do pavimento flexível possui hidrocarbonetos que derivam do petróleo, somados a outros componentes como o oxigênio, nitrogênio ou o próprio enxofre. Os compostos derivados do petróleo passam por alguns procedimentos antes de serem utilizados, normalmente por destilação, ou por meio de derivação natural, sem necessidade de passagem por processos industriais (CERATTI, 2010).

Os dois tipos de pavimentação utilizados hoje em dia, o flexível e o rígido, possuem suas características próprias, o que lhes compete uma aplicação específica, bem como vantagens e desvantagens de cada modelo, que deve ser analisado antes de qualquer aplicação final (MESQUITA, 2001).

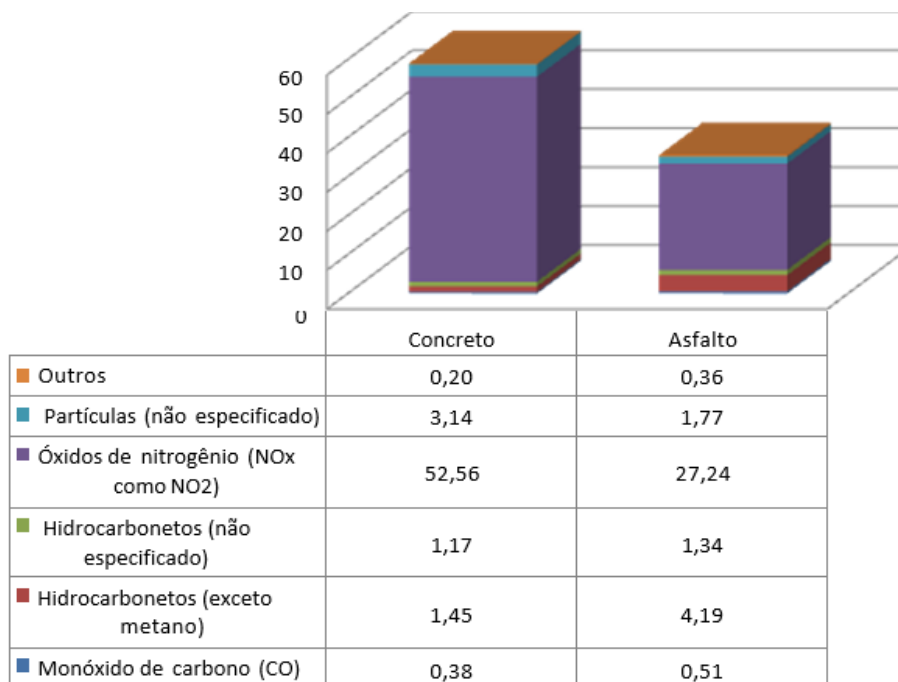
Além da classificação citada, os asfaltos utilizados para pavimentação são concentrados em três grupos diferentes: diluídos, emulsionados e industriais. Os asfaltos diluídos são aqueles resultantes de diluição do cimento em materiais como a nafta, e sua utilização principal se dá por meio de aspersão do piso de pavimentação.

De acordo com o estudo desenvolvido por Silva et al. (2014) apesar de, muitas vezes, ser considerado um material poluente, o asfalto é um material bem menos poluente que outros materiais já conhecidos da indústria. Nesse estudo é realizada a comparação ambiental de processos de pavimentação rígida (concreto) e pavimentação flexível (asfalto), o asfalto apresentou o menor índice poluente em comparação com o pavimento de concreto, utilizando como critérios de avaliação o

monóxido de carbono, hidrocarboneto, óxido de nitrogênio e partículas, como apresentado na Figura 3 abaixo.

Nesse caso, o eixo Y do gráfico representa em gramas de Nox, usadas no estudo como medida de comparação. E o eixo X representa a comparação entre o concreto e o asfalto

Figura 3 – Avaliação de poluentes



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2014).

Segundo Mesquita (2001), os asfaltos emulsionados são aqueles onde o mesmo é dividido em várias partículas, emulsionadas por meio de água usando um agente para compor a reação. Por conta disso, acabam sendo mais utilizados que os diluídos, visto que sua utilização é mais simples e prática.

Ainda segundo o autor, o asfalto industrial vai trabalhar com os asfaltos do tipo oxidados. Para que possam ser constituídos, ocorre a injeção de ar no cimento asfáltico, fazendo com que sua principal utilização seja o revestimento impermeabilizante, graças ao baixo teor de susceptibilidade térmica encontrado nesse tipo de asfalto.

Outra conceituação importante de se considerar é a prevista na NBR 7207 (1983), que determina o pavimento como sendo uma estrutura construída após um processo inicial de terraplanagem. Com isso, sua influência se dá em diversos

campos, e seus objetivos são: dar resistência no solo e auxiliar na dispersão de esforços verticais que partem do tráfego diariamente; auxiliar na melhoria do processo de rolamento e auxiliar na resistência dos esforços horizontais que atuam em cima dessa pavimentação.

Por fim, outra determinação conhecida é a de Leite (2018), que entende o asfalto como um material que varia a consistência, a cor (podendo ser preto ou pardo) e a sua origem, que pode ocorrer por meio de jazidas ou por meio do processo de refinamento do petróleo.

Independentemente do tipo de pavimento utilizado, a NBR 7207 de 1982 apresenta quais são as camadas presentes nessa estrutura do pavimento flexível, sendo:

- Subleito;
- Reforço do subleito;
- Sub-base;
- Base;
- Revestimento.

Conceitualmente, o pavimento flexível se resume a um tipo de revestimento betuminoso, colocado sobre uma base granular ou em uma base de solo já estabilizado. Podendo citar produtos como calçadas de paralelepípedo de cimento, calçadas de pedra, calçadas de borracha e alvenarias do tipo poliédricas (MEDINA, 1997).

No pavimento flexível, todas as camadas presentes na estrutura sofrem com a deformação elástica, ao ter o carregamento aplicado em cima da mesma, com a carga sendo distribuída de forma equivalente entre cada camada em questão (DNIT, 2006).

Segundo Lafaete ([s.d.]) o pavimento asfáltico possui algumas diretrizes estabelecidas em normas técnicas, para que o processo possa ser realizado. Algumas dessas definições são:

- Não execução do processo em dias de chuva;
- Aplicação do asfalto apenas quando a temperatura for superior a 10°C;

- O carregamento do cimento asfáltico deve ser realizado por meio de certificados que atestem as regularidades esperadas;
- O asfalto precisa dispor de informações como procedência, tipo e quantidade presente no carregamento em questão.

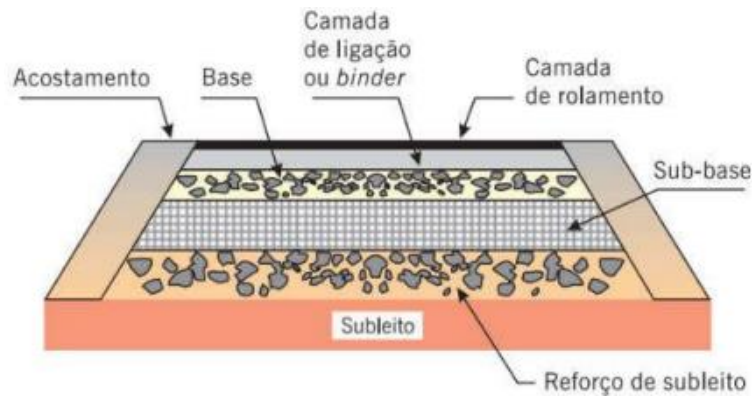
O pavimento asfáltico depende de uma série de fatores externos para que sua utilização possa ser prolongada. Com isso, as principais causas de deterioração desse tipo de pavimento, segundo Gonçalves (1999), são:

- Fadigas geradas por meio da repetição de carga do tráfego;
- Afundamentos na região da trilha de roda;
- Ondulação na superfície em razão de um alto número de deformações plásticas nas demais camadas;
- Tempo de vida curto do ligante betuminoso usado para oxidação, fazendo com que o material se torne mais fraco e facilite o trincamento do mesmo;
- Desgaste por exposição a agregados;
- Perda de textura de superfície de pavimento, principalmente causado por abrasão dos veículos.

Além desses pontos principais, o autor ainda cita a drenagem lenta realizada na sua camada base, originando uma formação de trincas no revestimento, liberando acesso para as águas pluviais se acumularem no topo da camada de base. Dessa forma, ao ocorrer a passagem de uma roda em qualquer um desses pontos, a base sofre de erosão.

A Figura 4 apresenta a estrutura do pavimento flexível visto por dentro, com suas principais camadas de composição.

Figura 4 – Estrutura do pavimento flexível



Fonte: Medina, 1997.

A grande desvantagem do pavimento flexível está na criação de pulsos de tensões ou de deformações causadas por cargas de roda na superfície. Nesse caso, as deformações cisalhantes são duplas, com reversão completa do sentido, fazendo com que suas características sejam diretamente atingidas (GONÇALVES, 1999).

No pavimento flexível, algumas patologias podem ocorrer com o passar do tempo e com o esforço necessário para manutenção dos processos de rolamento. Segundo Branco e Pereira (2016), as patologias encontradas em pavimentos flexíveis são:

- Fendilhamento;
- Movimentação de materiais;
- Deformações;
- Desagregação da camada de desgaste.

A Figura 5 apresenta as patologias presentes em cada grupo citado anteriormente.

Figura 5 – Tipos de patologia

| Famílias de degradações | Tipos de degradações | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------|
| Deformações | Fissuração | - Longitudinal | - Eixo |
| | | - Transversal | |
| | Deformações localizadas | | |
| | Trincas | | |
| Plástica | - Grande raio (camadas inferiores) | | |
| | - Pequeno raio (camadas superiores) | | |
| Fendilhamento | Fendas | - Fadiga | |
| | | - Longitudinais | - Eixo |
| | | - Transversais | |
| | | - Parabólicas | |
| | Panela/Buraco | - Malha fina - Malha grossa | |
| Desagregação da camada de desgaste | Desagregação superficial Buracos | | |
| Movimento de materiais | Exsudação | | |

Fonte: Branco e Pereira, 2016.

2.1.2 Pavimento rígido

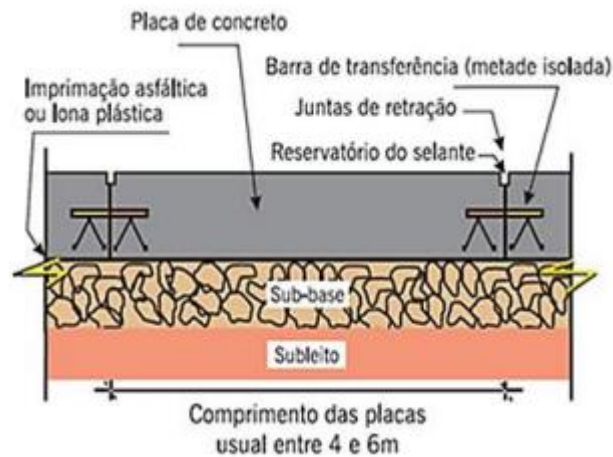
O pavimento rígido, por sua vez, trata-se de uma composição de concreto de cimento sobre o solo da fundação em questão. Nesse caso, essas placas desempenham a função de ser o revestimento e base da construção em questão (DANIELESKI, 2004).

Ou seja, na prática, sofrem um número muito baixo de deformações, principalmente por conta da sua composição se dar, em maior parte, por meio de concreto. Além disso, a camada destinada ao rolamento também funciona como uma

retribuição de esforços, diminuindo a tensão na fundação em questão, funcionando como uma estrutura específica das camadas de pavimentação (RENE, 2016).

A estrutura do pavimento rígido pode ser visualizada na Figura 6.

Figura 6 – Estrutura do pavimento rígido



Fonte: Medina, 1997.

Dentre as principais vantagens do uso de pavimentos rígidos, segundo (GIUBLIN et al., 2010) estão:

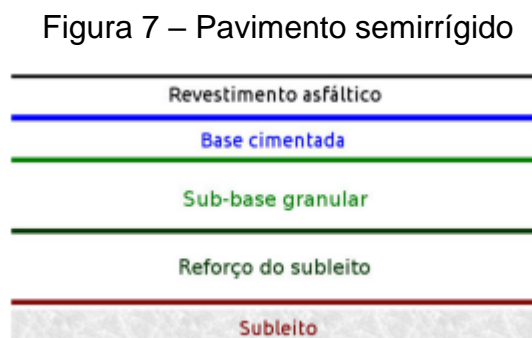
- Alta resistência quando exposto a tráfegos intensos;
- Alta resistência quando exposto a tráfegos pesados;
- Tempo de vida útil que pode superar os 20 anos;
- Sem deformação de superfície;
- Visibilidade maior;
- Melhor aderência calculada entre pneus e a sua própria superfície;
- Resistência contra-ataques químicos, principalmente aqueles causados por vazamento de óleo dos veículos;
- Custo de manutenção reduzida.

De forma geral, a principal característica do pavimento rígido é a sua baixa necessidade de manutenção no dia a dia, bem como o fato de, ao mesmo tempo, exercer duas funções importantes: ser a camada de rolamento e de base ao mesmo tempo. Com isso, consegue distribuir de forma uniforme as camadas inferiores desse mesmo pavimento, fazendo com que o subleito não precise ter uma capacidade muito alta (MESQUITA, 2001).

Um ponto importante de se considerar é o fato de o asfalto rígido ser menos nocivo para o meio ambiente, visto que o movimento de terra para sua implementação é consideravelmente menor. Além disso, o pavimento rígido não realiza a liberação de partículas sólidas de asfalto, o que é outra contribuição importante para o meio ambiente (MESQUITA, 2001). Apesar dos resultados apresentados no estudo de Silva et al., (2014) que apontou o asfalto como um material bem menos poluente.

2.1.3 Pavimento Semirrígido

O pavimento semirrígido se caracteriza por ser uma base de cimento a base de produtos químicos, possuindo em sua composição: base cimentada reforço de subleito, sub-base granular e revestimento (MANUAL PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E RÍGIDOS, 2008). É possível visualizar essa estrutura na figura 7.



Fonte: Manual pavimentos flexíveis e rígidos, 2008.

A diferença do semirrígido para o flexível está na presença de ligantes hidráulicos na base, com objetivo principal de conseguir uma rigidez suficiente para conseguir suportar as cargas decorrentes de uma malha rodoviária. Essa adição de ligante pode ocorrer nos mais diversos materiais (PAIXÃO; CORDEIRO; CORREIA, 2017).

2.2 NORMAS REGULAMENTADORAS

Por apresentar um processo importante e necessário para a funcionalidade da malha rodoviária, a pavimentação precisa ser realizada com base em normas técnicas bem definidas. Dentre as normas técnicas as mais utilizadas na prática são:

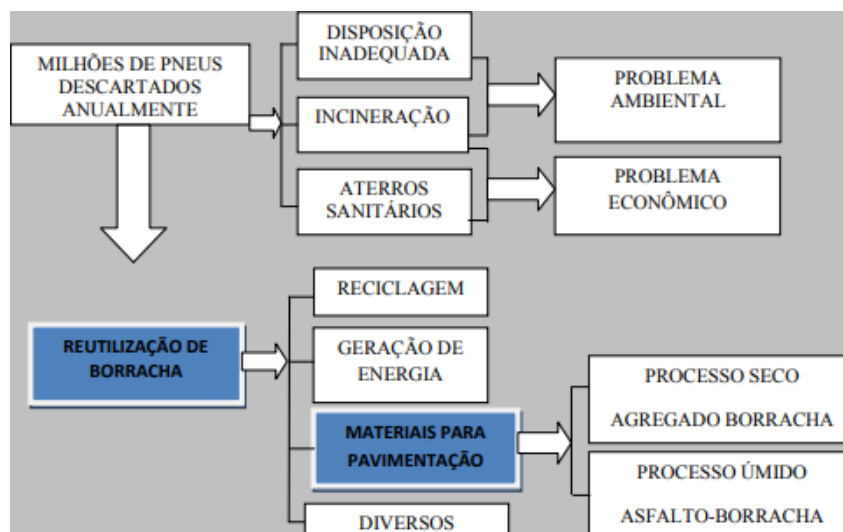
- NBR 15166;
- NBR 9574;
- NBR 12949;
- NBR 12265;
- DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) e outros.

Segundo a ABNT (2014), a NBR 15166 corresponde a determinação do asfalto modificado, onde o objetivo principal é o aprimoramento das propriedades químicas, fazendo com que se tenha um aumento na durabilidade do material.

Além disso, a norma NBR 15529 que trata sobre o asfalto borracha, traz também um tema bastante relevante: a questão ambiental. De acordo com a NBR, a mistura asfáltica é a forma mais eficiente e sustentável de dar descarte para o material.

O esquema de reaproveitamento citado pela NBR 15529 pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 – Reaproveitamento de pneus



Fonte: Zatarin et al. 2017.

2.2.1 Manual DNIT e outros

2.2.1.1 Reforço de Subleito

Os materiais empregados na camada de reforço do subleito devem apresentar características mecânicas superiores em comparação com o subleito. Destacam-se

os seguintes ensaios como essenciais à execução do reforço do subleito: compactação, teor de umidade, caracterização (Granulometria (IG), Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)), massa específica e Índice de Suporte Califórnia (ISC) (DAER, 1998).

Nesse sentido, de acordo com o Daer (1998) deve-se realizar um ensaio de compactação energética Proctor Intermediário, no espaçamento máximo de 300m, bem como os testes apropriados de caracterização, como o mínimo de dois ensaios ao dia. Além disto, deve-se realizar testes de umidade com intervalo máximo de 100m de pista, e massa específica aparente “in situ” com este valor por mínimo intervalo, e um teste ISC com a energia de compactação do Proctor Intermediário, com no máximo 500m de distanciamento e com no mínimo um ensaio feito a cada dois dias (DAER, 1998).

No que se refere ao DNIT, observa-se que os materiais constituintes devem atender a critérios técnicos e econômicos, mantendo-se dentro dos limites de disponibilidade, tendo a melhor aplicabilidade de suporte e expansão menor ou igual a 2%, e através dos ensaios de compactação (pelo método de energia intermediária) e índice de suporte Califórnia, para a obtenção dos valores de CBR e expansão pertinentes. (DNIT, 2010)

De acordo com Vilibor (2019), o reforço do subleito deve apresentar valoração no Mini-CBR, ou CBR, superior ao subleito, e máxima expansão de apenas 1%. Além disto, ainda de acordo com o autor, as camadas feitas com SAFL (Solo arenoso fino laterítico) apresentam granulação de diâmetro menor que 2mm e mais de 50% contêm diâmetro maior do que 0,075mm, além de ter a expansão menor que 0,5% e Mini-CBR maior que 10%.

2.2.1.2 Sub-Base e Base

Os ensaios realizados na estruturação da sub-base e da base são: Abrasão Los Angeles, Ensaio de Sanidade, ISC, compactação, caracterização (Granulometria, EA, LL e LP), teor de umidade e ensaio de equivalência de areia (DAER, 1998).

De acordo o DNIT (2010), a sub-base deve apresentar um IG igual ao valor 0, ISC maior ou igual a 20%, expansão menor que 1%, ensaio de compactação equivalente ao método B de energia ou superior. Ressalta-se, em relação a este autor, que caso o solo seja laterítico, o IG pode apresentar valoração diferente de 0 e

expansão maior que 1%, conquanto que o resultado do teste de expansão não exceda 10%.

Conforme o DNIT (2010), a base deve apresentar expansão máxima de 0,5%, MR (Módulo de resiliência) e DP- (Deformação permanente) segundo especificações de projeto, ISC variando de maior ou igual 60% e 80%, de acordo com a quantificação do número N, limite de liquidez menor ou igual a 25%, índice de plasticidade menor ou igual a 6%, e a equivalência de areia deve ser maior que 30% caso os limites de LL e LP forem excedidos.

Em suma a isto, observa-se nas Figuras 8, 9 e 10 a junção geral das principais informações relacionadas às exigências para a base e sub-base, de acordo com Villibor (2019).

Figura 8 – critérios do SAFL- (Solo arenoso fino laterítico) para base e sub-base.

| Propriedades | | Valores admissíveis | | Método de ensaio |
|--|------------|---------------------|----------|------------------|
| | | Base | Sub-base | |
| Granulometria (% que passa) | # 2,0 mm | 100% | | DNER-ME 051/94 |
| | # 0,075 mm | < 50% | | |
| Grupo MCT | | LA, LA' e LG' | | M5 e M8 |
| Mini-CBR sem imersão com sobrecarga | | ≥ 40% | ≥ 30% | M2 |
| Expansão sem sobrecarga | | ≤ 0,3% | ≤ 0,3% | |
| RIS | | ≥ 50% | - | |
| Contração | | 0,1% a 0,5% | - | M3 |
| Valores obtidos na ho da energia intermediária do Mini-Proctor | | | | |

Fonte: Villibor, 2019.

Figura 9 – Critérios SLAD (Solo laterítico-agregado de granulometria descontínua) para base e sub-base.

| SOLO INTEGRAL | Granulometria para base e sub-base | | | Propriedades | Valores admissíveis* | | Método de ensaio |
|-----------------------------|---|-------|--------------------------|---|----------------------|------------------|------------------|
| | Peneiras | | % que passa | | Base | Sub-base | |
| | ASTM | mm | Villibor e Nogami (2009) | | | | |
| | 1" | 25,4 | 100 | CBR e expansão | > 70% (EM) | > 30% (EI) | DNIT 172/2016-ME |
| | 3/8" | 9,5 | 50-75 | | < 0,3% | < 0,3% | |
| | nº 10 | 2,0 | 35-62 | Los Angeles | < 65% | - | DNER-ME 035/98 |
| | nº 40 | 0,42 | 30-58 | | | | |
| | nº 200 | 0,075 | 10-30 | | | | |
| FRAÇÃO φ < 2,0 mm | Propriedades na energia intermediária do Mini-Proctor | | | Valores admissíveis* | | Método de ensaio | |
| | | | | Base | Sub-base | | |
| | Mini-CBR _{hm} | | | 30% | 20% | M2 | |
| | Expansão | | | < 0,3% | < 0,3% | | |
| Contração | | | 0,1% a 0,8% | < 1,0% | M3 | | |
| * Valores admissíveis na ho | | | | EI e EM: energia intermediária e modificada | | | |

Fonte: Villibor, 2019.

Figura 10 – Critérios SLAC (Solo laterítico-agregado de granulometria contínua) para bases e sub-bases.

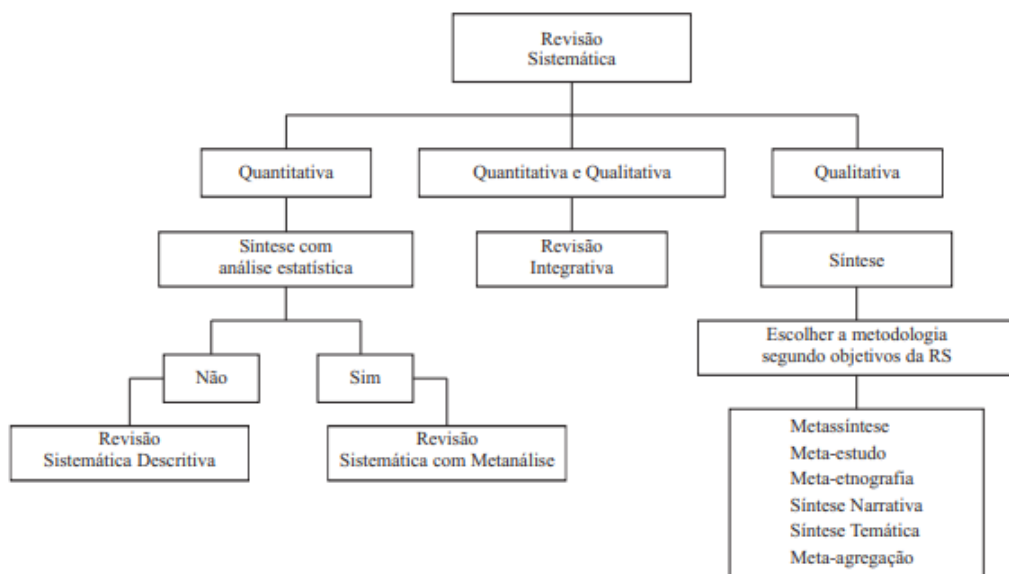
| FAIXAS GRANULOMÉTRICAS | Peneiras | | DER-SP: ET-DE-P00/014 | | | | | | DNIT: 098/2007 – ES | |
|---|------------------------|---|-----------------------|------------------|------------------|--------|------------------|--------|---------------------|-------|
| | | | % que passa | | | | | | | |
| | ASTM | mm | I | II | III | IV | V | VI | A | B |
| 2" | 50,8 | | 100 | 100 | | - | | | - | - |
| 1" | 25,4 | | - | 75-95 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3/8" | 9,50 | | 30-65 | 40-75 | 55-85 | 60-100 | - | - | 40-85 | 60-95 |
| nº 4 | 4,80 | | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 | 55-100 | 70-100 | 20-75 | 30-85 |
| nº 10 | 2,0 | | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 | 40-100 | 55-100 | 15-60 | 15-60 |
| nº 40 | 0,42 | | 8-20 | 15-30 | 15-30 | 20-50 | 20-55 | 30-70 | 10-45 | 10-45 |
| nº 200 | 0,075 | | 2-8 | 5-15 | 5-20 | 5-20 | 8-25 | 10-25 | 5-30 | 5-30 |
| % do material que passa na peneira nº 200 < 2/3 da que passa na peneira nº 40 | | | | | | | | | | |
| PROPRIEDADES | Parâmetros | | Valores admissíveis* | | | | Método de ensaio | | | |
| | Fração $\phi < 2,0$ mm | Classificação MCT | Base | | Sub-base | | M5 e M8 | | | |
| | | | LA', LA, LG' | | | | | | | |
| | Solo integral* | CBR | > 70% EM | > 30% EI | DNIT 172/2016-ME | | | | | |
| | | Los Angeles | < 50% | < 70% | DNER-ME 035/98 | | | | | |
| Faixa I a VI | | < 65% | | | | | | | | |
| Faixa A e B | | < 0,3% | < 0,3% | DNIT 172/2016-ME | | | | | | |
| *Intervalo de valores admissíveis na ho | | EI e EM: energia intermediária e modificada | | | | | | | | |

Fonte: Villibor, 2019.

3 METODOLOGIA

O primeiro passo para determinação da metodologia da pesquisa é o seu enquadramento. A figura 11 apresenta o enquadramento metodológico.

Figura 11 – Enquadramento metodológico



Fonte: Zatarin et al. 2017.

Tomando como base o enquadramento acima, o presente trabalho se classifica como uma revisão sistemática do tipo qualitativa, por ter as atenções voltadas para a literatura e artigos já publicados. Nesse sentido, para que essa pesquisa fosse possível, utilizou-se de plataformas como o Google Acadêmico e Scielo.

Nas plataformas, a opção se deu por trabalhos publicados nos últimos 30 anos, de modo que fosse possível manter a atualização da pesquisa. De modo geral, a delimitação temporal precisou ser estendida em razão da ausência de trabalhos publicados mais recentemente, especialmente sobre temas que são discutidos desde o início do século XX. Além disso, trabalhos como Medina (1997) são considerados de grande valia para tratar sobre o tema, justificando sua utilização.

Após a separação dos artigos, a revisão seguiu na delimitação de quais trabalhos seriam utilizados na pesquisa. Como critérios de escolha, utilizou-se, principalmente, o entendimento dos objetivos e os resultados encontrados, para entender se estavam de acordo com as necessidades da pesquisa.

Ao todo, 17 artigos foram escolhidos e utilizados durante a pesquisa, optando pelo uso de 6 destes, considerados principais para o tema proposto, para realização de uma amostragem dos resultados obtidos.

Ainda seguindo no enquadramento acima, o presente trabalho se constrói na metodologia de metassíntese, com uma síntese de trabalhos já publicados com objetivo de gerar uma nova interpretação a partir dos resultados obtidos de outras pesquisas já publicadas.

O conceito de síntese é bastante simples, representando um resumo completo com as principais ideias sobre determinado assunto ou temática. Com isso, é a base de toda a revisão sistemática.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para finalização do processo de criação da revisão sistemática sobre a mudança de pavimentos flexíveis para rígido, convém analisar os principais trabalhos levantados, com seus respectivos resultados. Com isso, pode-se determinar sua influência direta no trabalho e quais as vertentes adotadas por cada pesquisador.

Os objetivos e resultados encontrados nos artigos utilizados para a revisão sistemática estão presentes no quadro 1.

Quadro 1 – Análise dos Resultados

| Autor e ano | Título | Objetivos | Resultados |
|-------------------|---|---|--|
| Danieleski (2004) | Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos: aplicação à rede viária de porto Alegre | <ul style="list-style-type: none"> - Avaliar os pavimentos revestidos com material asfáltico; - Identificar principais tipos de pavimentos existentes de Porto Alegre | A única metodologia encontrada para avaliação de pavimentações foi a PMPA e a SMOV, mesmo assim, os procedimentos realizados se mostraram eficientes para conseguir realizar a avaliação de condição dos pavimentos. |
| Mesquita (2001) | Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária. Estudo de caso – Rodovia BR-262, Miranda – Morro do azeite – MS | <ul style="list-style-type: none"> Analisar as relações de custo e benefício do pavimento flexível e do pavimento rígido; Entender o impacto desses dois tipos de pavimento para a sociedade. | O pavimento rígido apresentou um resultado financeiro mais satisfatório no que diz respeito ao custo-benefício, enquanto apresentou lucro, o pavimento flexível apresentou prejuízo. O pavimento rígido também apresenta |

| | | | |
|------------------------|---|---|--|
| | | | um índice melhor de redução. |
| Rodrigues Filho (2006) | Estudo Econômico comparativo entre tipos de pavimentos | Caracterizar o momento em que o pavimento rígido passa a ser mais econômico do que o pavimento flexível em uma visão de aplicação nas principais rodovias do país | Não se deve optar por um tipo de pavimento considerando apenas um custo inicial, mas, sim, os valores posteriores como manutenção e possíveis reajustes. Nessa análise, o pavimento rígido se torna mais interessante considerando o nível de tráfego e capacidade de suporte. |
| Silva et al. (2014) | Avaliação ambiental de processos de pavimentação rígida e flexível a partir da análise do ciclo de vida | Comparação dos dois tipos de pavimentos existentes, para identificar quais os impactos causados no meio ambiente durante toda a execução do seu ciclo de vida. | Qualquer infraestrutura rodoviária deve ser constituída com base em um projeto real e que possa analisar os tipos de pavimento existentes, além dos impactos ambientais que possam causar. |

| | | | |
|-------------------------------------|---|--|--|
| <p>Veiga, Kuhn e Norback (2020)</p> | <p>Pavimento de Concreto</p> | <p>Apresentar uma descrição completa sobre o pavimento de concreto e suas principais características.</p> | <p>O pavimento rígido apresentou uma série de vantagens quando comparado com o pavimento flexível, principalmente considerando custos, estrutura e questões ambientais.</p> |
| <p>Cavalet et al., (2019)</p> | <p>Análise comparativa do custo-benefício entre pavimentos flexíveis em concreto asfáltico e pavimentos rígidos em concreto de cimentos Portland em rodovia de alto tráfego</p> | <p>Comparar a utilização de pavimentação rígida de concreto de cimento Portland com a pavimentação flexível em concreto asfáltico usinado à quente considerando o tráfego da SC-114, trecho entre Otacílio Costa – SC e Lages –SC, para avaliar o custo-benefício de construção e manutenção</p> | <p>O pavimento rígido apresentou, cerca de 31% mais economia comparado ao pavimento flexível. devido a elevação dos custos do pavimento flexível e diminuição da sua viabilidade econômica. Em relação a manutenção, o pavimento rígido apresentou uma economia de 76% em relação ao pavimento flexível, devido a sua menor necessidade de</p> |

| | | | |
|--|--|--|-----------------------------|
| | | | intervenções de manutenção. |
|--|--|--|-----------------------------|

De acordo com os artigos levantados e agrupados acima, o pavimento rígido se mostra economicamente mais viável que o pavimento flexível, principalmente no que diz respeito ao seu custo no decorrer do tempo.

Muitas vezes, o pavimento flexível acaba sendo escolhido unicamente em razão do custo inicial ser mais baixo do que o pavimento rígido. No entanto, essa economia só acontece no primeiro momento, visto que, com o passar do tempo, o pavimento rígido se torna mais vantajoso.

Além disso, todas as características presentes no pavimento, de acordo com os estudos apresentados, como por exemplo resistência, durabilidade, rigidez, reforço, baixa manutenção, reflexão de luz e resistência a condições climáticas fazem com que o tipo rígido se torne a melhor opção de médio e longo prazo. Mesmo assim, convém uma análise ainda mais detalhada para tratar sobre questões específicas de cada região.

Dentro das principais vantagens elencadas para o pavimento flexível presentes nos resultados obtidos está a redução dos custos para implementação do mesmo nas grandes rodovias, o que viabilizaria uma primeira investida por parte do poder público. Por outro lado, deve-se atentar, para os custos de manutenção dos pavimentos flexíveis, que costumam ser mais alto.

Na prática, existe uma relação inversamente proporcional entre os casos, onde o pavimento rígido possui custo maior de implementação e custo menor de manutenção, enquanto o pavimento flexível é mais barato para implementar, porém mais custoso para manter.

Dessa forma, entende-se que a amostra escolhida se deu de forma satisfatória para conclusão do trabalho, especialmente por apresentar os trabalhos mais utilizados como base de pesquisa para o trabalho em questão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pavimentação é parte fundamental de qualquer projeto rodoviário, e deve ser entendida como uma das prioridades na execução do projeto. Nesse sentido, analisar

as opções disponíveis dos tipos de pavimento e quais as principais vantagens e desvantagens desses tipos é fundamental.

Dentro dessa perspectiva, a análise dos tipos de pavimentos deve ser realizada por meio de variáveis pré-determinadas e que possuem uma influência direta no resultado. Por exemplo, custo-benefício, aplicação na vantagem do pavimento, custo de manutenção, necessidade de manutenção e região em que o pavimento vai ser aplicado.

A região de aplicação é um dos pontos mais importantes de ser levantado, principalmente por existir uma larga diferença de aplicação a depender da região. Por exemplo, para regiões com volume de tráfego alto, a pavimentação precisa ser moldada com base nesse esforço e nessa possibilidade de patologias.

Nesse sentido, o presente trabalho cumpre seu objetivo ao apresentar como prioridade a utilização do pavimento rígido ao invés do tipo de pavimento flexível. Além disso, evidencia, ainda, que o primeiro modelo se mostra mais vantajoso por uma série de variáveis qualitativas e, também, quantitativas, em referência aos estudos apontados e usados como base para a revisão sistemática.

Como proposta de estudos posteriores, propomos uma análise mais detalhada com estudo de caso comparando a utilização dos pavimentos rígido e flexível em um trecho específico da região nordeste do País com o objetivo de avaliar o custo-benefício de construção e manutenção.

REFERÊNCIAS

_____. NBR 15166: Asfalto modificado - Ensaio de separação de fase. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 15529: - Asfalto Borracha – Propriedades reológicas de materiais não newtonianos por Viscosímetro Rotacional. Rio de Janeiro, 2007.

_____- NBR 7207 - Terminologia e classificação da pavimentação. Rio de Janeiro/RJ. ABNT. 1982.

BALBO, J. T. Pavimentos asfálticos – patologias e manutenção. São Paulo, Editora Plêiade, 2017.

BRANCO, F., PEREIRA, P. Pavimentos Rodoviários. Edições Almedina, Coimbra, 2016.

CAVALET, V.N; LUVIZÃO, G.; NIENOV, F.A.; ZAMPIEIRI, L.Q. Análise comparativa do custo-benefício entre pavimentos flexíveis em concreto asfáltico e pavimentos rígidos em concreto de cimento Portland aplicado em rodovia de alto tráfego. 33º Congresso de pesquisa e ensino em transporte da ANPNET Balneário Camboriú-SC, 2019.

DAER. Especificações gerais. Rio Grande do Sul: Secretaria de Transportes, 1998.

DANIELESKI, Maria Luiza. Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos: aplicação à rede viária de Porto Alegre. 187p. (Dissertação) Mestrado. UFRGS. 2004.

DNIT. Pavimentação – Reforço do subleito -Especificação de serviço. MT, 2010.

DNIT. Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. MT, 2010.

GIUBLIN, C. R, MASCHIO, A.; MULLER NETO, J. RODRIGUEZ, J. R. P.; DAHER, C.H. R.; DAHER, C. Z. Corredor de ônibus em pavimento de concreto na Linha Verde de Curitiba. Ano XXXVIII, N.58, Revista Concreto e Construções. IBRACON. 2010.

LAFIETE. Pavimento flexível x pavimento rígido: quais as principais diferenças?. [s.d.]. Disponível em: <https://www.lafietelocacao.com.br/artigos/pavimento-flexivel-rigido/>. Acesso em: 08 de maio 2023.

LEITE, L. F. M. Curso Básico Intensivo de Pavimentação Urbana – Módulo Básico – Ligantes Asfálticos. Rio de Janeiro, 2018.

MEDINA, J. Mecânica dos Pavimentos. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1997.

MESQUITA, José Carlos Lobato. Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária. Estudo de Caso – Rodovia BR-262, Miranda – Morro do Azeite – MS. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Florianópolis, 2001.

RENE CE. INTRODUÇÃO - PAVIMENTO – DEFINIÇÃO. 2016

RODRIGUES FILHO, S. Estudo Econômico Comparativo entre Tipos de Pavimentos. 173 páginas. Dissertação (Mestrado). UNICAMP, 2006.

SILVA, Cristine Santos de Souza; et al. Avaliação ambiental de processos de pavimentação rígida e flexível a partir da análise do ciclo de vida. IX Simpósio internacional de qualidade ambiental. 2014.

TAVARES, Jandson Henrique. Análise comparativa entre agregados graníticos e calcários para uso em camadas granulares de pavimentos. Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Mossoró, RN, 2013.

VEIGA, Fabiane Paschoal; KUHN, Eva Diuliana da Costa; NORBACK, Carine. Pavimento de Concreto. Revint, v.8, 2020.

VILLIBOR, Douglas F.; ALVES, Mariana L. Pavimentação de baixo custo para regiões tropicais: projetos e construção: novas considerações. Florianópolis: Tribo da Ilha, 2019.

ZATARIN, Ana Paula Machado; SILVA, André Luiz Ferreira; ANEMAN, Lehi dos Santos; BARROS, Marcos Roberto; CHRISOSTOMO, Walbert. Viabilidade da pavimentação com asfalto-borracha. R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 649-674, out.2016/mar. 2017.