

TÍTULO: COMPARATIVO ENTRE O PAVIMENTO FLEXÍVEL X RÍGIDO

Oswaldo Manoel Neto¹
Rafael Augusto Valentim da Cruz Magdalena²
Universidade São Francisco
Neto.tst87@gmail.com

¹Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Swift.

²Professor Mestre Orientador, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Swift.

Resumo. Esse estudo procedeu com a análise dos aspectos e comparativos entre pavimentos rígidos e flexíveis, tendo como foco grupos como o DNIT, DER e concessionárias particulares, responsáveis por cuidar da segurança dos usuários nas rodovias do país. Foram considerados diferentes aspectos dessas duas possibilidades de pavimentação, como durabilidade, custo inicial, resistência, necessidade de manutenção, aspectos ambientais, dentre outros. Assim, o objetivo foi de destacar os benefícios e desvantagens do pavimento rígido e do flexível, evidenciando sua viabilidade de acordo com as necessidades específicas de utilização. Dessa maneira, espera-se que as informações apresentadas contribuam no aumento da confiabilidade, segurança e redução de custos de manutenção, com base em diversas pesquisas já executadas. Nas conclusões foi perceptível que, de maneira geral, o pavimento rígido se sobressai ao flexível, apesar desse último ser predominante nas rodovias do país. No entanto, deve-se sempre considerar o VDM – Volume Diário Médio de tráfego, já que quando esse fica entre 500 e 750 o flexível é mais indicado, no entanto, a partir de 2000, quando passa a existir um fluxo mais intenso, deve-se empregar o rígido.

Palavras-chave: Comparativo, Pavimento flexível, Pavimento rígido, Rodovias.

Introdução

Será realizada uma análise de pesquisas e estudos que buscam identificar aspectos e realizar comparações entre pavimentação rígida e flexível. Essas análises serão direcionadas a grupos como DNIT, DER e concessionárias particulares, responsáveis por assegurar a segurança dos usuários em grandes rodovias federais e estaduais. Os estudos selecionados são referentes a rodovias federais e estaduais, considerando diferentes aspectos como, o prazo de execução variando de acordo com elementos como extensão em quilometragem, localização, condições climáticas e fluxos, todos impactando diretamente na escolha do revestimento adequado.

O objetivo é destacar os benefícios e desvantagens tanto do pavimento rígido quanto do flexível, evidenciando sua viabilidade de acordo com as necessidades específicas de utilização. Espera-se, assim, contribuir para o aumento da segurança e confiabilidade, além da redução de custos relacionados, como os ligados a manutenções, através de uma comparação abrangente baseada em diferentes estudos que abordam diversos aspectos dos materiais em distintas condições e situações de uso.

De acordo com Senço (2007) os pavimentos são estruturas formadas por diferentes camadas com espessuras finitas, posicionando-se no relevo final da terraplanagem, com o objetivo primordial de resistir aos esforços verticais originados pelo tráfego, e aos esforços horizontais decorrentes dos desgastes, tornando as condições de rolamento cada vez melhores

quanto à segurança e ao conforto, e aumentando sua durabilidade.

Sob essa perspectiva, os aspectos do pavimento precisam suprir o máximo possível, algumas necessidades, como resistência ao desgaste, estrutura com adequada capacidade de transporte, não gerar níveis elevados de ruídos ou desgastes excessivos nos pneus, fornecer suavidade no deslocamento, ser resistente aos esforços climáticos, apresentar resistência satisfatória contra derrapagens e viabilizar o escoamento das águas (SENÇO, 2007).

De maneira geral, todas as seções transversais típicas dos pavimentos abrangem camadas pré-determinadas, contando, inicialmente, com a “fundação”, que é denominada como subleito, seguida pela camada de regulação, quando necessária às condições do solo, reforço do subleito, sub-base, base e, por fim, os revestimentos que, por sua vez, referem-se às camadas que possuem materiais e espessuras estabelecidos conforme o método de dimensionamento (SENÇO, 2007).

Os pavimentos podem ser definidos em dois tipos principais, como rígidos, onde o revestimento possui alta rigidez se comparado com as camadas inferiores, e flexíveis, no qual todas as camadas sofrem deformações elásticas ao estarem sob esforços. Em ambos os casos, um dos cuidados mais importantes relaciona-se com a captação e a drenagem de águas pluviais, que interfere diretamente na qualidade e conservação de rodovias (SENÇO, 2007).

O Brasil possui mais de 1.700.000 km de rodovias, porém, apenas um pouco mais de 221.000 são pavimentadas alcançando um índice aproximado de 13%. Desse percentual, 99% são de pavimento flexível, ou seja, asfalto, que, no entanto, é menos vantajoso que os pavimentos rígidos com relação a aspectos como resistência e custo x benefício, por exemplo (ALBANO, 2013).

Verificada, portanto, a relevância que as estradas possuem tanto para o desenvolvimento do país, tanto na qualidade de vida e mobilidade da população, devendo apresentar condições adequadas de tráfego, depara-se com o questionamento sobre as principais características e cuidados necessários na execução e conservação de estradas de pavimento rígido e flexível.

Esse estudo pretende identificar aspectos e realizar comparações entre pavimentação rígida e flexível. Iniciou-se abordando a caracterização da pavimentação de maneira geral, em seguida os pavimentos rígidos, suas técnicas construtivas, vantagens e desvantagens, e os pavimentos flexíveis também com suas técnicas construtivas, vantagens e desvantagens.

A pavimentação

De acordo com Guedes (2016) a história humana sempre abarcou a busca por opções que simplificassem o deslocamento, de tal maneira que as necessidades fossem supridas com conforto e agilidade. Com o decorrer dos tempos, foram evoluindo os meios de transporte e sua quantidade se tornou crescente, ampliando a necessidade de novas vias pavimentadas que apresentassem segurança e qualidade aos usuários.

Além disso, os transportes foram conquistando maior relevância no processo de sobrevivência dos povos e de desenvolvimento econômico e social das localidades, de tal maneira que os caminhos precisam ser acessíveis em todos os períodos do ano. A partir disso, os pavimentos passaram a ser dimensionados e executados de tal maneira que fossem capazes de resistir aos esforços solicitantes de tráfego e de fornecer segurança aos usuários, tornando-se um tipo de superestrutura formada por finitas camadas assentadas em um terreno de fundação (GUEDES, 2016).

No entanto, ainda de acordo com as percepções de Guedes (2016) sua projeção é desafiadora, relacionando-se com as dificuldades de suprimento das demandas funcionais e estruturais, juntamente com a necessidade de atender aos aspectos de economia. Tem-se ainda a necessidade de que o conjunto de camadas e o subleito apresentem desempenho satisfatório,

associado com a durabilidade e com a capacidade de suporte adequados ao tipo de tráfego e ao padrão da obra, gerando conforto no rolamento e segurança aos usuários. Destaca-se ainda o fato de que é necessária a priorização das rodovias para favorecer o setor de transporte, de modo que a logística passe a ser mais competitiva no Brasil.

De acordo com Ceratti e Nunez (2011), o pavimento é considerado como uma estrutura composta por diferentes camadas com diversos materiais em cada uma dessas, que atuam de maneira conjunta. Assim, no seu dimensionamento, devem ser estabelecidas as espessuras de todas as camadas, a fim de que se tornem capazes de resistir e transmitir para o subleito as cargas que são geradas pelo tráfego, evitando deformações ou rupturas, bem como deterioração em excesso.

Assim, pode-se definir como pavimentação a “Ação de pavimentar, cobrir com revestimento o solo de uma rua, de uma estrada etc.”. Desta maneira, é necessário que se faça a escolha mais adequada com relação ao tipo de pavimento a ser implantado, sendo conhecidos três tipos que de acordo com sua classificação, podem ser rígidos, semi-rígidos e flexível, porém, esse estudo dará ênfase aos pavimentos rígidos e flexíveis (RODRIGUES, 2012).

Já Balbo (2007) afirma que “Pode-se ainda definir pavimento como uma estrutura composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, com a função de atender estrutural e operacionalmente o tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível”.

Nessa perspectiva tem-se detalhe muito importante, de que o termo pavimentar passou a ser utilizado cada vez mais erroneamente, como se fosse um sinônimo de asfaltar, não só por leigos, mas também por profissionais das mais diferentes áreas. Além disso, grande parte da população não reconhece os diferentes tipos de materiais utilizados nas vias e estradas, tornando corriqueiro o termo “asfaltar”. Com isso, a indústria encontra-se em busca pela demonstração do valor que os diferentes tipos de pavimentos podem agregar na vida dos usuários (RODRIGUES, 2012).

Especificamente sobre o pavimento rígido, que é mais recente, tecnicamente, é aquele no qual o revestimento apresenta elevada rigidez em relação às camadas inferiores, absorvendo assim, praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Além disso, em suas análises, Rodrigues (2012) destaca que se trata de um material com maior durabilidade, podendo ultrapassar 30 anos de utilização, reduzindo custos de manutenção ou de substituição. Considerando-se esse contexto, o uso adequado do termo é essencial para que as tecnologias sejam diferenciadas e reconhecidas com seus potenciais.

O pavimento rígido

Pode-se dizer que os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento é constituído por placas de concreto de cimento *Portland*, que possuem elevada rigidez em relação às camadas inferiores, e espessura fixa em função da resistência à flexão das placas, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (BERNUCCI ET AL., 2010).

Já Balbo (2007) define esse tipo de pavimento como formado através de duas camadas principais, que é a sub-base, geralmente composta por materiais granulares estabilizados quimicamente por aditivos ou granulometricamente, e a base que, por sua vez, é o revestimento que forma uma única camada, formada através do cimento *Portland*. As placas que formam a base e o revestimento podem ser executadas através de diferentes tipos de concretos, armadas com barras de aço ou não. A Figura 1 a seguir, ilustra a constituição da estrutura de uma pavimentação rígida, detalhando a placa de concreto.

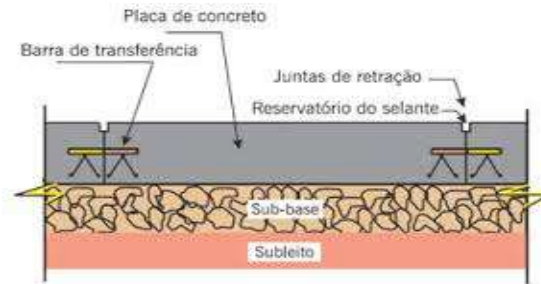


Figura 1 – Detalhes da composição das camadas da pavimentação rígida (Fonte: Moretto, 2020).

Observando os detalhes da figura, Bernucci et al. (2010) descreve que a cor cinza é a placa de concreto, tendo-se também as barras de transferência nas extremidades da placa, onde há as juntas de dilatação e seus reservatórios do selante, no meio a sub-base que recebe a placa de concreto, e mais abaixo o subleito.

Com relação aos cimentos mais amplamente utilizados e considerados como adequados para o PCS, Balbo (2007) afirma que são o *Portland* comum – CP-I, *Portland* composto – CP-II, *Portland* de alto forno – CP-III e o *Portland* pozolânico – CP-IV. Mean, Ananias e Oliveira (2011), afirmam existirem diversos tipos de pavimentos rígidos, sendo alguns desses destacados na sequência.

Iniciando-se com a pavimentação de concreto simples, as tensões solicitantes são vencidas apenas pelo concreto, não sendo necessária a aplicação de armaduras distribuídas. Nesse caso, não se consideram como armaduras os sistemas eventuais para a ligação de transferências das cargas entre placas, originadas por juntas transversais e longitudinais (MEAN; ANANIAS; OLIVEIRA, 2011).

Na pavimentação *whitetopping* tem-se um tipo de pavimento de concreto que tem sua sobreposição no pavimento flexível anteriormente existente. É muito comumente utilizado em casos de recuperações de rodovias que apresentam condições inadequadas ao tráfego. Com isso, o pavimento flexível como uma sub-base para o pavimento de concreto, não havendo aplicação de armaduras distribuídas no suporte de tensões solicitantes. Eventualmente, utilizam-se os sistemas para a transmissão entre as placas (PEREIRA, 2009).

A pavimentação estruturalmente armada objetiva o combate às tensões de tração na flexão incidente na placa, ou seja, é armada estruturalmente. Comumente, no caso desse pavimento, insere-se a armação na parte inferior das placas, local onde ocorre a maior solicitação dos esforços (PEREIRA, 2009).

Quanto à pavimentação de concreto compactado com rolo ou rolado consiste em um tipo de concreto indicado para aplicação nos locais nos quais os veículos circulam em velocidades baixas, não existindo interferências pelo peso dos mesmos, como, por exemplo, as rodovias vicinais e os estacionamentos. Possuindo quantidade baixa de água, esse concreto também costuma ser aplicado em sub-bases dos pavimentos, pois evita que ocorram excessivas deformações, uniformizando o suporte (MORETTO, 2020).

Por fim, com relação às pavimentações que são constituídas através de peças pré-moldadas, têm-se que essas peças possuem diferentes formatos, podendo ter articulações ou serem junta postos, e tem o seu rejunte com asfalto. É muito indicada para desvios com leves tráfegos, vias de acesso e estacionamentos (MORETTO, 2020).

De maneira geral, no que se diz respeito à aplicação do pavimento rígido podem ser Rodovias de tráfego intenso, pesado e repetitivo; BRTs, corredores exclusivos, marginais e grandes avenidas; Aeroportos: pátios e pistas; Portos: áreas portuárias e perimetrais; Áreas sujeitas a derramamento de combustíveis; Pisos industriais, comerciais e terminais em geral;

Túneis, viadutos, pontes, alças de acessos, calçadas, ciclovias, etc.; e Recuperação de pavimentos (PEREIRA, 2012).

Pavimentos flexíveis

Os pavimentos flexíveis são compostos por subleito, que é o terreno de fundação do pavimento, seguido pelo leito, obtido através de terraplenagem e conformada ao seu greide, que é o perfil fixo do eixo longitudinal do leito, e a regularização, responsável pela conformidade sobre o leito atendo as especificações (MATIAS, 2022).

Além disso, tem-se o reforço do subleito, uma camada de espessura constante, a sub-base que complementa a base que, por sua vez, é destinada a resistir à distribuição dos esforços solicitados. Por fim, há o revestimento, que é a camada impermeável e recebe diretamente a ação dos veículos (MATIAS, 2022).

De acordo com Albano (2013) o procedimento para a implantação de uma pavimentação asfáltica começa com quatro camadas, que são as seguintes: revestimento de base, base, sub-base e reforço do subleito. O tipo de asfalto mais utilizado no país é o CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), produzido em usinas ou na pista, em casos de manutenção. Na figura 2, estão ilustradas as camadas aplicadas na pavimentação flexível.

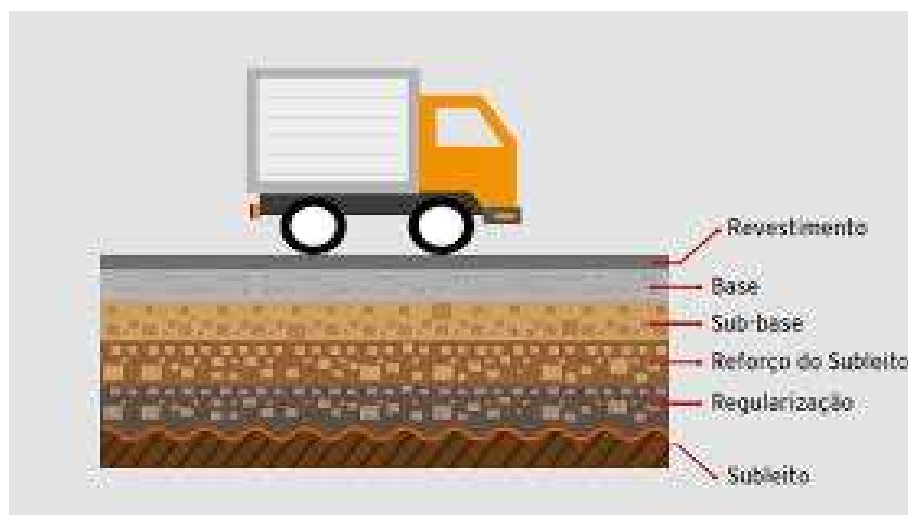


Figura 2 – Constituição do pavimento flexível (Fonte: Albano, 2013)

A figura acima, conforme as afirmações disponibilizadas nos estudos de Pereira (2009) apresenta cada uma das camadas do pavimento flexível, identificando-se, de cima para baixo, a pista de rolamento, que é o revestimento, sua base e sub-base, mais abaixo o reforço do subleito, que fica sobre a regularização do subleito (feito quando necessário) e por fim o subleito.

O pavimento flexível necessita de uma maior quantidade de camadas, distribuindo todas as cargas que recebe até que chegue a uma seção mais concentrada do subleito. Na Figura 3 pode ser verificada a distribuição de tensões até chegar ao, onde existe uma região com raio pequeno e concêntrica a vertical do centro de carga, tornando pressões ficam localizadas. É possível comparar essas informações, com o que ocorre no pavimento rígido (BRAGA, 2018).

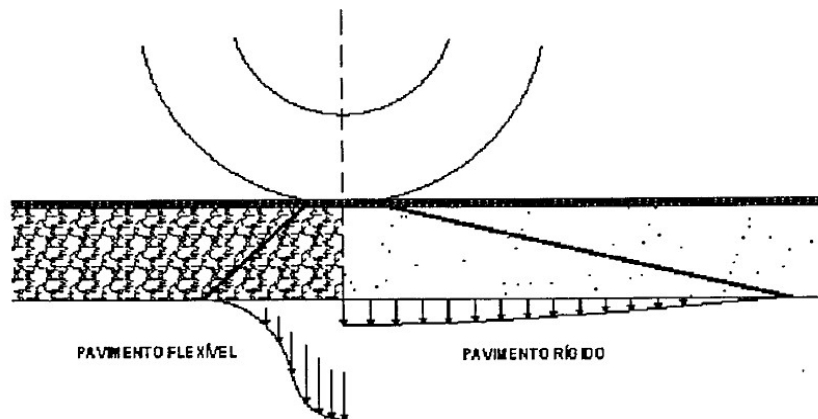


Figura 3 - Configuração da distribuição de tensões verticais no solo de fundação de um pavimento flexível e rígido (Fonte: Braga, 2018)

No dimensionamento dos pavimentos flexíveis são utilizados os métodos empíricos, nos quais consideram-se as experiências acumuladas, que são relacionadas ao desempenho apresentado pelo pavimento com seus materiais construtivos. É benéfico, especialmente, por sua facilidade, tendo-se que os ensaios para a identificação dos parâmetros são simples e dispensam equipamentos sofisticados (BRAGA, 2018).

Assim, há maior agilidade na geração dos dados combinada a menores custos. Entretanto, não se pode generalizar os resultados para todas as regiões, devendo sempre ser analisado o tipo de material e as condições de tráfego em cada situação (BRAGA, 2018). Assim, abordando especificamente acerca dos materiais na pavimentação flexível tem-se que:

“Os critérios para a seleção dos materiais utilizados devem ser analisados com cautela, de tal maneira que seja obtida a melhor solução possível. No contexto da infraestrutura de transportes, os critérios são: disponibilidade, qualidade e transporte dos materiais, que são os que mais pesam no custo final, além de influenciar nas questões ambientais.” (BRAGA, 2020).

A pavimentação asfáltica surgiu com o intuito principal de sanar os problemas relacionados com desgastes excessivos, deslizamentos, enchentes, dentre outros problemas que ocorrem nas estradas, e melhorar a locomoção e o transporte, sendo implantado também nas áreas urbanas que sofrem da mesma situação. Uma rodovia sem qualquer manutenção acaba causando transtorno e até possível prejuízo para o motorista (PEREIRA, 2009).

“O asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoelástico, impermeável à água e pouco reativo. A baixa reatividade química a muitos agentes não evita que esse material possa sofrer, no entanto, um processo de envelhecimento por oxidação lenta pelo contato com o ar e a água.” (BERNUCCI ET AL., 2010).

Na grande maioria dos pavimentos aplicados no país, o revestimento tem sua composição através de uma mistura de agregados minerais de diferentes dimensões, podendo também ter fontes variáveis que são incorporados a ligantes asfálticos e ao serem corretamente processados, asseguram ao serviço que foi executado, os requisitos de

resistência ao trincamento e a fadiga, resistência a derrapagem, durabilidade, estabilidade, flexibilidade e impermeabilidade (PEREIRA, 2010).

As misturas asfálticas consistem em materiais com características visco elásticas, que ao serem expostos ao carregamento repetido tendem a se romper devido ao trincamento, deformação ou fadiga, ou pela combinação desses três mecanismos de degradação (CERATTI E NUNEZ, 2011).

A mistura mais utilizada no Brasil é o Concreto Asfáltico (CA), mais conhecido como o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), sendo tal mistura composta, basicamente, pelo cimento asfáltico e agregados de dimensões variadas, que tem sua dosagem e aquecimento variando conforme a densidade que é buscada (BERNUCCI ET AL., 2006).

Salienta-se que muitos fatores podem interferir no desempenho que os pavimentos, de um modo geral, oferecem, sendo destacados a quantidade de cargas e sua magnitude, a heterogeneidade e as propriedades dos materiais constituintes por toda a via, os aspectos ambientais, a drenagem, se é ou não adequada e suficiente, as práticas de manutenção aplicadas ao longo do tempo, bem como sua frequência, e a natureza do solo do subleito (ALBANO, 2013).

Material e Métodos

Na seleção da metodologia para a elaboração do presente estudo, considerou-se pertinente a revisão de literatura, na qual são buscados artigos e outros trabalhos acadêmicos voltados para a temática em questão, em bases de dados confiáveis como *Google Scholar* e *sCiello – Scientific Electronic Library Online*. Foram priorizados materiais disponibilizados a partir de 2010, trazendo uma vastidão de conteúdo mais recente.

Assim, no processo de seleção do tipo de pavimento a ser empregado nas estradas e rodovias do país, é essencial o conhecimento dos aspectos técnicos de cada tipo disponível, os quais, por sua vez, são relacionados com a construção, manutenção, comportamento, vida útil, segurança e sustentabilidade.

Aspectos técnicos

Iniciando pela construção, há maior complexidade em se tratando da pavimentação flexível se comparada com a rígida, em decorrência de distinções como a absorção das cargas por esses pavimentos. No entanto, embora seja mais simples, o tipo rígido apresenta rigorosidade elevada em seus métodos construtivos e na qualidade dos materiais empregados (NETO, 2011).

Ainda conforme Guimarães Neto (2011) o pavimento rígido, por ser capaz de dispersar mais facilmente as cargas em sua estrutura, reduz a necessidade de atividades como reforço do subleito, muito comum no caso dos flexíveis. Já Ribas (2017) afirma que o pavimento flexível conta com maior variedade de empresas que ofertam equipamentos e mão de obra qualificada e necessários para sua construção, diferentemente do rígido que, apesar de estar conquistando mais espaço, tem maior restrição dos recursos especializados, podendo desencadear erros construtivos.

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2017) o pavimento rígido, a curto prazo, apresenta o melhor custo/benefício, uma vez que apesar de demandar maior investimento inicial, se receber todas as manutenções adequadas, tende a gerar custos inferiores ao do pavimento flexível que, por sua vez, acaba se deteriorando mais rapidamente, onerando os custos. Portanto, apesar de o custo inicial de construção do pavimento rígido ser maior, os custos totais e a vida útil ampliam suas vantagens sobre o flexível.

Corroborando com essas percepções, tem-se que utilizando o concreto é obtida maior resistência ao desgaste e mecânica, não havendo deformação plástica, oxidação, trilhas de rodas ou buracos, o que aumenta a durabilidade da estrutura e reduz a necessidade dos reparos de rotina. Todos esses problemas são mais frequentes em se tratando do pavimento flexível, onde se faz necessário o recapeamento a cada 5 anos de vida útil (MEAN ET AL., 2011).

Já ao serem tomadas as percepções de Ribas (2017) constata-se que as manutenções executadas nas obras de pavimentação asfálticas acabam sendo mais rápidas, uma vez que a liberação do tráfego é viabilizada logo após a execução dos serviços, diferentemente do concreto, que demanda o tempo de cura adequada.

Nesse viés, é necessário mencionar a vida útil do pavimento, que de maneira geral, sofre variações conforme as cargas dos veículos, os materiais empregados, os aspectos de projeto e executivos. Estima-se que no caso do tipo rígido a vida útil chegue aos 20 anos, não sofrendo oxidação e resistindo a ação do sol e das chuvas, combustíveis e óleos de veículos, ao passo em que a tua como impermeabilizante (SANTOS FILHO, 2011).

De acordo com Matias (2022), a pavimentação asfáltica recebe esse nome por contar com uma cama de revestimento do tipo asfáltico, que fica situado acima de outras camadas, procedendo com a distribuições dos esforços que recebe para sua base, diferentemente do que ocorre no caso do pavimento rígido.

Caracteriza-se por não apresentar risco de rompimento, sendo formado através de materiais betuminosos. Especificamente sobre esses materiais, apresentam inúmeras classificações, com destaque para o tipo de mistura, que pode ser a quente, antes de sua aplicação, ou a frio, através de penetração, formando camadas sucessivas de ligantes e agregados (MATIAS, 2022).

Ao se comparar o pavimento rígido com o pavimento flexível, verifica-se que esse segundo possui uma deformação elástica mais expressiva, pois os esforços absorvidos são divididos entre as camadas, e as tensões verticais ficam concentradas nas camadas inferiores (PEREIRA, 2012)

Por consequência, acaba requerendo grandes espessuras nas camadas, uma vez que utiliza materiais deformáveis e recebe grandes cargas, ou devido ao fato de que, muitas vezes, são empregados materiais sem qualidade garantida. Com isso, as espessuras asseguram que a tensão seja inferior à resistência do solo de fundação (BRAGA, 2018).

Em seus estudos, Mean, Ananias e Oliveira (2011) destacam que o custo-benefício é imprescindível na seleção do tipo de pavimentação das rodovias, que modo que o concreto apresenta resultados satisfatórios em locais como aeroportos, portos e corredores de ônibus, gerando maior qualidade e economia de combustível, ao passo em que não sofre com buracos e deformações plásticas. Por consequência, sua durabilidade é ampliada, reduzindo os riscos de acidentes e as necessidades de manutenções. Dessa maneira:

Estudos de viabilidade demonstram que a pavimentação em concreto é a solução ideal para vias públicas e rodovias submetidas a tráfego intenso e pesado de veículos comerciais. Alguns exemplos como: BR 101 NE, Rodoanel, Imigrantes, BR-232, BR-290 e MT-130, sem contar a Rodovia Itaipava – Teresópolis, construída em 1928, ou seja, há mais de 70 anos, a qual encontra-se em operação até hoje, sem nenhum tipo de recapeamento. (MEAN; ANANIAS; OLIVEIRA, 2011, p.17).

Quando comparado ao pavimento flexível, o pavimento rígido possui vida útil superior a 20 anos, em alguns casos chegando até 40 anos, é resistente a ação corrosiva de combustíveis, óleos veiculares e também a ação das chuvas e sol, além de atuar como impermeabilizante. Contrastando com esse cenário, ao pavimento flexível possui vida útil

inferior a 10 anos, onde as situações anteriores mais a falta de manutenção adequada podem causar a deterioração da sua superfície (PEREIRA, 2012).

Três aspectos apresentados pelos pavimentos rígidos podem ser considerados como suas maiores qualidades, sendo primeiramente o custo-benefício, requerendo menor quantidade de manutenção destinada à conservação da integridade do solo, se comparado aos pavimentos flexíveis, o que compensa o maior investimento inicial de sua implementação (MEAN; ANANIAS; OLIVEIRA, 2011).

O segundo aspecto é a durabilidade, pois as placas de concreto atuam como uma laje rígida sobre o subleito, distribuindo as cargas para uma região maior, diferentemente do que se verifica no caso dos pavimentos flexíveis, onde essas são mais concentradas. Por fim, tem-se o desempenho superior com relação à conservação tanto da via, quanto dos veículos, contando com resistência às deformações e distribuição de tensões, resistência elevada de carga e refletividade, melhorando a condução no período noturno, e aderência, que reduz o risco de aquaplanagem (PEREIRA, 2009).

Nessa perspectiva, Ceratti e Nunez (2011) reforçam que a pavimentação de concreto de cimento *Portland* tem como vantagens a melhor aderência, reduzindo os riscos de aquaplanagem e proporcionando maior segurança, grande refletividade, que é ideal para condução noturna, maior resistência às deformações e a abrasão e grande eficácia na distribuição das tensões com menos intervenções de manutenção.

Além disso, estudos indicam que a energia despendida para a produção de concreto para pavimentação é inferior à necessária para a produção de concreto asfáltico, ocasionando uma economia de até quatro vezes. Tem-se ainda que a superfície clara proporciona economia de iluminação pública, ao passo em que reduz a temperatura ambiente, minimizando a utilização do ar condicionado e, conseqüentemente, a poluição ambiental (BERNUCCI ET AL., 2010).

Assim, de maneira resumida, podem ser identificadas as seguintes vantagens para a aplicação do pavimento de concreto: não promove aquaplanagem; melhor visibilidade por reflexão; economia de energia elétrica e uma grande durabilidade com menor quantidade de atividades de manutenção (MORETTO, 2020).

Além disso, também é de suma importância destacar que não sofre deformação plástica, buracos e trilhas de rodas; menor distância de frenagem economia de combustíveis; menor absorção de calor; conforto de rolamento; custo de construção competitivo; vantagens ambientais do concreto; e execução por modernas técnicas (MORETTO, 2020).

O pavimento flexível tem capacidade de suporte de até 10 anos sem grandes problemas estruturais, porém, é fortemente afetado pelas temperaturas elevadas, chuvas excessivas ou por óleos e combustíveis dos veículos que geram degradação da superfície, evidenciando o destaque do primeiro tipo de pavimentação mencionado (SANTOS FILHO, 2011).

Os engenheiros que trabalham na pavimentação de avenidas, ruas ou rodovias, possuem a atribuição de selecionar qual o tipo que será mais adequado conforme cada caso, conforme características econômicas e técnicas. No caso dos pavimentos flexíveis, no Brasil, esses requerem algum tipo de manutenção, em média, a cada 3 a 5 anos (PEREIRA, 2010).

A execução das manutenções preventivas de maneira periódica e adequada tende a manter as condições mínimas de funcionalidade do pavimento, evitando deficiências estruturais e gerando custos menores que as intervenções corretivas e de emergência, as quais, por sua vez, devido à falta de planejamento, acabam sendo as mais usuais no Brasil. Com relação às vantagens agregadas ao se utilizar o pavimento flexível, esse é que apresenta melhor desempenho da possibilidade de construção progressiva ao longo de sua vida útil, melhor custo benefício inicial e grande facilidade de execução (PEREIRA, 2009).

As cargas apresentam melhor distribuição em se tratando do tipo rígido, sendo dissipada ao longo das placas de concreto, o que reduz a demanda da atuação do solo nesse processo. No pavimento betuminoso há uniformidade nessas cargas, que são verticais e requerem que o solo atue e sofra grandes deformações elásticas (RIBAS, 2017).

No pavimento flexível todas as camadas sofrem deformação elástica quando recebem aplicação de carregamento, fazendo com que a carga seja distribuída em partes consideravelmente equivalentes ao longo da sua composição. Comporta o revestimento betuminoso e os materiais mais largamente aplicados são o asfalto, que constitui a camada de revestimento, o material granular que forma a base, e o solo ou outro material granular que compõe a sub-base (BALBO, 2007).

Na segurança é necessário considerar que o concreto possui capacidade elevada de reflexão da luz por contar com uma superfície clara, o que melhora visibilidade noturna e horizontal dos motoristas, especialmente em dias chuvosos, além de proporcionar maior aderência entre a superfície de rolamento e os pneus, reduzindo a distância de frenagem (CARVALHO, 2007).

Eleva ainda a velocidade de escoamento da água se comparado com o revestimento asfáltico, devido à texturização, com menos acúmulo de águas superficiais nos dias chuvosos, reduzindo os riscos contra derrapagens. Contudo, a pavimentação flexível proporciona maior aderência a demarcações viárias, fator que resulta de sua textura rugosa (CARVALHO, 2007).

Para Ribas (2017) é importante destacar que a segurança é um dos fatores mais importantes a serem consideradas, e o pavimento rígido tem grande destaque pela tendência de redução dos acidentes, já que traz grande resistência contra aquaplanagem e agentes químicos, apresentando melhor resposta em tais situações.

Finalizando os aspectos técnicos tem-se que mencionar que os métodos de execução através de técnicas de reciclagem ampliam os benefícios da pavimentação flexível, como asfalto com polímeros e asfalto com borrachas de pneus, por exemplo. Por consequência, tornam esse material mais ecológico e econômico em comparação com o tipo rígido, reduzindo os impactos ambientais (RIBAS, 2017).

Deve-se considerar ainda que a produção do concreto consome até um quarto da energia consumida na produção do asfalto, ao passo em que sua superfície clara demanda menos iluminação pública e menor temperatura ambiente. Há ainda pesquisas que indicam a redução no consumo de combustível por veículos pesados no tráfego em pavimentos rígidos, com menor resistência ao rolamento e esforços mecânicos dos veículos (SILVA FILHO, 2011). Reconhecidas tais características, aborda-se então o comparativo econômico.

Aspectos econômicos

Outro cuidado essencial no projeto de dimensionamento dos pavimentos é o comparativo econômico relacionado com a implantação e manutenção. Tomando-se o DNIT (2017) com sua planilha dos custos médios, tem-se que na construção de uma pista simples com pavimento flexível, contando com acostamento de 2,5 metros e faixa de 3,6 metros, bem como revestimento de Concreto Asfáltico Usinado à Quente de 10 cm de espessura, há o custo médio de R\$ 3.159.000,00 por km.

Já ao se utilizar o pavimento rígido com faixa e acostamento nas mesmas medidas mencionadas, mas com espessura de 18 cm na pista e 10 cm no acostamento os custos médios chegam aos R\$ 5.430.000,00 por km. Constata-se a notoriedade de que os custos iniciais do rígido superam em quase 42% os relacionados ao flexível (DNIT, 2017).

Já Moschetti (2015) aborda a implantação de uma pista do tipo simples, com largura de 7 metros, considerando a estrutura implantada no pavimento e o VDM (média dos volumes

dos veículos que trafegam no período de 24 horas em determinado trecho de via), assim como os custos de implantação. A partir disso, foi desenvolvida a tabela 1.

Tabela 1 – Custos para implantação de rodovias por km

VDM	Rígido	Flexível
500	R\$ 1.066.000,4	R\$ 791.484,50
750	R\$ 1.104.463,30	R\$ 938.062,00
2000	R\$ 1.104.463,30	R\$ 1.138.449,29
3500	R\$ 1.142.926,20	R\$ 1.285.548,61
5000	R\$ 1.181.389,10	R\$ 1.341.571,64
10000	R\$ 1.219.852,00	R\$ 1.532.054,61

Fonte: Moschetti, 2015

Para melhor observação do comparativo em questão, os dados da tabela foram dispostos na forma do Gráfico da Figura 4.

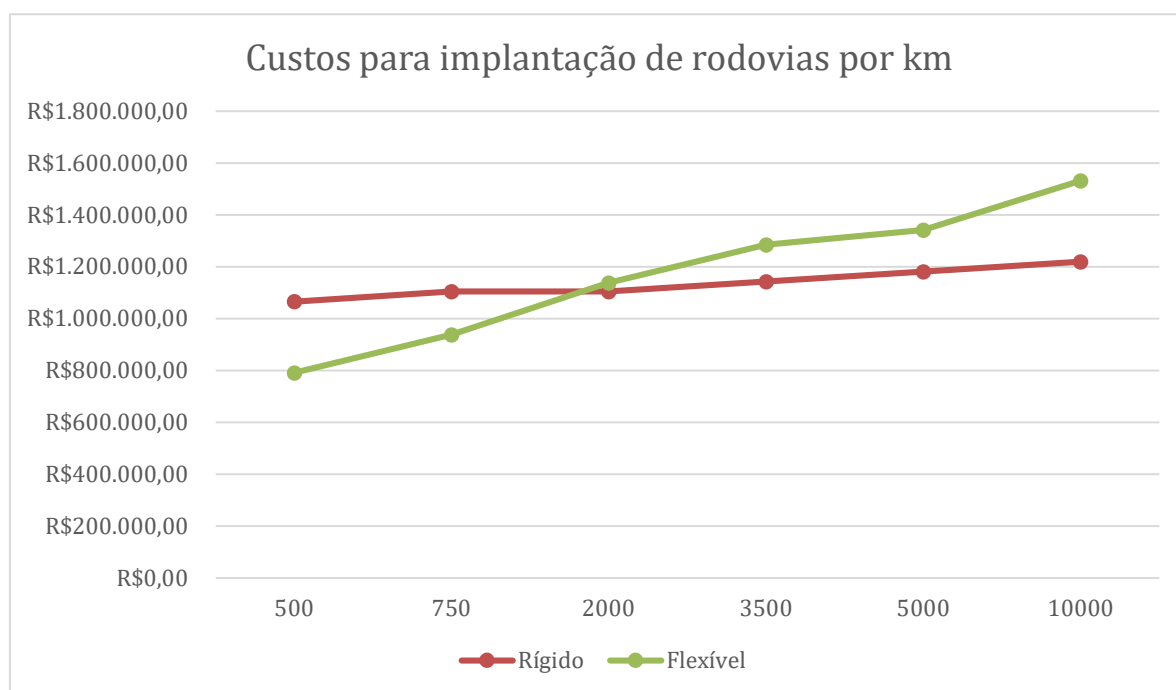


Figura 4 – Custos para implantação de rodovias por km (Próprio autor, 2023).

Essas informações evidenciam nos casos do VDM ser mais baixo, variando entre 500 a 750, é recomendada a utilização dos pavimentos de concreto betuminoso. Assim, conforme o VDM vai sofrendo aumento, superando 2000, a melhor opção identificada são os pavimentos de concreto.

Também devem ser observados os custos de manutenção desses pavimentos e conforme mencionado, os flexíveis tem vida útil de até 10 anos, além de ser necessária a manutenção anual e a restauração a cada cinco anos, com custos respectivos de R\$ 51.800,00 e 1.200.000,00 por km, ao passo em que o pavimento rígido não demanda ações de conservação rotineiras ou sua restauração, de modo que costumam ser realizadas manutenções a cada 10 anos, gerando valores equivalentes a 4% dos seus custos de implantação. Portanto, nesse aspecto, também há maior destaque no uso dos pavimentos rígidos.

Resultados e Discussão

A primeira informação essencial é de que a pavimentação das rodovias assume grande relevância no desenvolvimento econômico de um país, trazendo aspectos de segurança e conforto aos seus usuários, de tal maneira que a busca por pavimentos de qualidade adequada, que reduzam custos de execução e manutenção, representam um dos objetivos constantes desse segmento.

Assim, ao serem analisados os teóricos selecionados para o presente estudo, é notório que o pavimento em concreto betuminoso é predominante nas rodovias do país, com malha rodoviária muito superior ao pavimento de concreto, porém, apesar desse cenário, o pavimento rígido demonstrou ser mais benéfico em rodovias com VDM a partir de 2000, embora tenha maior custo inicial de implantação.

Nesse contexto observa-se que o pavimento flexível representa a principal opção de revestimento encontrado no mercado, trazendo aspectos como versatilidade, flexibilidade e menor custo inicial. No entanto, seu emprego demonstrou ser adequado em VDM de 500 a 750 apenas. As informações demonstram que ambos os tipos de pavimentos trazem vantagens e desvantagens em sua composição, com diferentes indicações, conforme as situações. Tem-se então a Tabela 2 que traz comparativo dos aspectos analisados entre os pavimentos rígidos e flexíveis.

Tabela 2 – Comparativo de características entre pavimentos rígidos e flexíveis

Pavimentos rígidos	Pavimentos flexíveis
Formado por estrutura mais simples	Formado por estrutura complexa, requer escavações e movimentação de terra.
Devido à sua composição, este pavimento é muito resistente aos ataques químicos.	É sensível aos produtos químicos (óleo, graxas, combustíveis).
Pequena necessidade de manutenção.	Requer manutenções mais frequentes.
Devido ao baixo nível de porosidade, apresenta menor aderência em demarcações.	Elevada aderência para demarcações
Vida útil estimada em 20 anos.	Vida útil estimada em 10 anos.
Custo inicial elevado, mas devido às vantagens relacionadas com vida útil e manutenção, em longo prazo se torna compensatório.	Apresenta custo inferior se comparado ao rígido.
Quando necessárias manutenções deve-se refazer toda a placa de concreto afetada.	Quando necessárias manutenções, admite reparos apenas no local afetado.

Fonte: Próprio autor.

Portanto, apesar dos prós e contras de cada tipo, o pavimento rígido acaba trazendo aspectos que o tornam mais viável que o flexível, com aspectos que o auxiliam na geração de melhorias para as vias, com segurança, conforto e qualidade para os usuários, melhorando os custos operacionais dos veículos, tempo de viagem e redução dos riscos de acidentes. A vida útil também é significativamente maior que a do flexível.

O pavimento rígido apresenta capacidade elevada de conservar as condições adequadas da superfície de rolamento, demandando menor quantidade dos serviços de manutenção por um longo período. Há maior resistência aos ataques químicos de combustíveis, graxas e óleos, assim como ampliação da segurança na circulação dos veículos, já que não ocorre deformação, tampouco trilho de rodas e aquaplanagem.

Outros benefícios estão relacionados com a melhor reflexão da luz e ampliação da visibilidade horizontal, especialmente ao longo do período noturno. Trata-se de uma opção sustentável que gera economia de combustível por parte dos veículos, assim como menor consumo da energia elétrica e geração de resíduos.

Sob o viés econômico, o pavimento mais amplamente empregado no país, que é o flexível, conta com um menor investimento inicial para sua implantação, representando em torno de 40% a menos que o valor do rígido. Em contrapartida, ao longo dos anos, tomando-se os custos globais, há maior necessidade das atividades de manutenção, diferentemente do que ocorre no pavimento rígido, que tem sua competitividade ampliada por apresentar condições satisfatórias de utilização por maior período, com menos intervenções de manutenção, que compensam os custos iniciais.

Por fim, sobre o já mencionado VDM, apesar dos prós e contras gerais dos tipos em análise, é indicação do flexível em situações de tráfego considerado como leve, ao passo em que conforme esse volume vai sendo ampliado, o rígido se apresenta como a melhor opção, com custos globais mais competitivos.

Conclusões

Esse estudo foi elaborado com o objetivo de serem destacados os benefícios e as desvantagens do pavimento rígido e flexível, trazendo sua viabilidade conforme as necessidades de utilização específicas. Dessa maneira, primeiramente, foi abordada a composição e os métodos construtivos de ambos, tornando-se evidente que os flexíveis costumam demandar uma quantidade maior de camadas, e que os dois tipos têm comportamentos estruturais diferentes. De maneira geral, ficou evidente que o tipo rígido se sobressai ao flexível, apesar desse segundo ter sua utilização predominante no país.

As pesquisas evidenciaram que os pavimentos flexíveis, apesar de demandarem maior quantidade de camadas, apresentam menor custo de implantação e viabilizam a realização de reparos mais pontuais, quando necessário, sem que haja a necessidade de refazer a placa da estrutura. No entanto, é comum que demande reparos após entre 3 e 5 anos de utilização, e apresenta vida útil média de 10 anos. É composto por mistura asfáltica e permite o uso de materiais recicláveis, como borrachas de pneus, por exemplo, sendo aliados da sustentabilidade nesse quesito.

Já em se tratando dos pavimentos rígidos, seu custo inicial é superior, no entanto, quando adequadamente executados, não requerem manutenções tão frequentes quando o flexível, apresentando vida útil de cerca de 20 anos, e pode demandar reparações a partir de 10 anos, a qual representa cerca de 4% de seus custos iniciais, de modo que, a longo prazo, seu custo-benefício é superior.

Ainda conta com maior aderência entre os pneus e o revestimento devido à sua composição, assim como refletividade da luz, também reduzindo a necessidade de iluminação artificial e, por consequência, aumentando a segurança dos usuários. Além desses benefícios, tem-se ainda sua boa resistência aos agentes químicos, como combustíveis e óleos.

No entanto, deve-se observar ainda o VDM, tendo-se que entre 500 e 750 é mais viável o tipo flexível, ao passo em que, a partir de 2000, o rígido deve ser utilizado, demonstrando ser mais viável para rodovias com tráfego mais intenso, por sua resistência superior. Dessa maneira, observa-se que cada tipo tem suas vantagens e desvantagens, apesar de o rígido se sobressair em um contexto geral.

Referências Bibliográficas

ALBANO, João F. **Hierarquia e classificação funcional de vias rurais e urbanas. Tópicos avançados em vias rurais e urbanas.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/494_05_hierarquia_e_classificacao_viaria.pdf>. Acesso em 11 set 2023.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e restauração.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 560 p.

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura M. G; CERATTI, Jorge A. P.; SOARES, Jorge B. **Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010.

BRAGA, Caio Willi Correia. **Dimensionamento de pavimento flexível.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2020. Disponível em: <<https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/3004/1/CAIO-BRAGA.pdf>>. Acesso em 22 set 2023.

CARVALHO, Marcos Dutra de. **Pavimento de Concreto: Reduzindo o Custo Social.** São Paulo, 2007. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2013/02/2007_Artigo_Pavimento-de-concreto_Reduzindo-o-custo-social.pdf>. Acesso em 25 out 2023.

CERATTI, Jorge Augusto Pereira; NUNEZ, Washington Peres. **Projeto de Pesquisa CONCEPA – LAPAV: estudo de desempenho de pavimento experimental com objetivo de validar método racional de dimensionamento de pavimentos flexíveis.** Porto Alegre: 2011.

Confederação Nacional do Transporte – CNT. **Transporte Rodoviário: Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília, CNT, 2017. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Estudo/transporte-rodoviario-pavimento>>. Acesso em 18 out 2023.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. Planilha: **Custos Médios Gerenciais** 2017. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/copy_of_custo-medio-gerencial>. Acesso em 19 out 2023.

GUEDES, Luan Morais. **Determinação do índice de gravidade global (IGG) de trecho reconstruído da rodovia PB-111.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2016. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/10310/1/PDF-%20Luan%20Morais%20Guedes.pdf>>. Acesso em 22 set 2023.

GUIMARÃES NETO, Guilherme Loreto. **Estudo Comparativo entre a Pavimentação Flexível e Rígida.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade da Amazônia, Belém, 2011. Disponível em: <<http://livrozilla.com/doc/794724/estudo-comparativo-entre-a-pavimentacao-flexivel>>. Acesso em 19 out 2023.

MATHIAS, Rubens Feitosa. **Revisão bibliográfica sobre rígido e pavimento flexível considerando dimensionamento e custos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/68421/3/2022_tcc_rformatias.pdf>. Acesso em 24 set 2023.

MEAN, Angélica; ANANIAS, Renata; OLIVEIRA, Viviane. **Pavimentação Rígida.** 2011. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade São Francisco – USF, Itatiba, 2011.

MORETTO, Rafaela Paola. **Comportamento mecânico do concreto compactado com rolo com adição da cinza de madeira.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/218787/TCC%20Rafaela%20P.%20Moretto%20-%20final.pdf?sequence=1>>. Acesso em 14 set 2023.

PEREIRA, D. da S. **Estudo do comportamento de pavimentos de concreto simples em condições de aderência entre placa de concreto e base cimentada ou asfáltica:** Tese de doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 2009.

RIBAS, Leandro Carlos. **Custo-Benefício na Execução de Pavimentos Rígidos.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <<http://tconline.utp.br/media/tcc/2017/10/CUSTO-BENEFICIO-NA-EXECUCAO-DE-PAVIMENTOS-RIGIDOS.pdf>>. Acesso em 19 out 2023.

RODRIGUES, Hugo. **Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP.** Disponível em <<https://abcp.org.br/imprensa/pavimentar-ou-asfaltar-um-desafio-da-comunicacao/>> Acesso em 19 set 2023.

SENÇO, W. D. **Manual de técnicas de pavimentação.** 2º. ed. amp. São Paulo: Pini, 2007. v. 1.

SILVA FILHO, Augusto Lins e. **Estudo Comparativo de Viabilidade Técnica e Econômica Entre Pavimentos Rígido e Flexível Aplicados a Rodovia BR-408/PE.** Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP, Caruaru, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.favip.edu.br:8080/bitstream/123456789/164/1/TCC+II++-+Augusto+rev.pdf>>. Acesso em 21 out 2023.