



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS  
UNIPAC BARBACENA  
ENGENHARIA CIVIL**

**JOSÉ FELLIPE DA SILVA ARAÚJO  
RAFAEL ANDRETTO BARREIROS**

**A PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA E SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS E  
AMBIENTAIS**

**BARBACENA/MG  
2020**

**JOSÉ FELLIPE DA SILVA ARAÚJO  
RAFAEL ANDRETTO BARREIROS**

**A PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA E SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS E  
AMBIENTAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos de Barbacena, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Emanuel Bomtempo Matos

**BARBACENA/MG  
2020**

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos este trabalho a todos os que nos ajudaram ao longo desta caminhada. Em especial à nossa família, pela compreensão e apoio nos momentos difíceis.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao nosso orientador, o Professor Emanuel Bomtempo Matos por ter aceitado acompanhar-nos neste projeto. O seu empenho foi essencial para a nossa motivação à medida em que as dificuldades iam surgindo ao longo do percurso pois, pudemos contar com seu apoio e incentivo.

## **EPIGRAFE**

*“Sabe o que é mais caro na engenharia? O  
‘desconhecimento’.”*

*(Luiz Anibal de Oliveira Santos)*

## RESUMO

Esta monografia aborda alguns aspectos da pavimentação asfáltica de rodovias, visando demonstrar técnicas que podem ser utilizadas para cada tipo de necessidade apresentada e que geram um melhor custo-benefício. O principal objetivo deste artigo é analisar os tipos de pavimentação asfáltica em rodovias e determinar as melhores técnicas de pavimentação asfáltica, com suas respectivas vantagens e desvantagens, dando ênfase à pavimentação sustentável. Realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o assunto na qual a busca se deu a partir dos meios eletrônicos: artigos, livros e sites. Concluiu-se que o setor rodoviário, por ser fundamental para o desenvolvimento do país, necessita de uma especial atenção, por isto as estradas têm de oferecer conforto e segurança para seus usuários. Além das condições de se permitir um tráfego melhor e com mais qualidade, não se deve esquecer que existem novas tecnologias que são capazes de reduzir custos, melhorar a qualidade da pavimentação e ter um menor impacto sobre a natureza.

**Palavras-chave:** Pavimentação Asfáltica. Rodovias. Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

This monograph addresses some aspects of asphalt paving of highways, aiming to demonstrate techniques that can be used for each type of need presented and that generates a better cost-benefit ratio. The main objective of this article is to analyze the types of asphalt paving on highways and to determine the best asphalt paving techniques, with their respective advantages and disadvantages, emphasizing sustainable paving. A bibliographic review was carried out on the subject in which the search took place using electronic means: articles, books and websites. It was concluded that the road sector, being fundamental for the development of the country, needs special attention, for this reason the roads have to offer comfort and safety to their users. In addition to the conditions for allowing better and more quality traffic, it should not be forgotten that there are new technologies that are capable of reducing costs, improving the quality of paving and having a lesser impact on nature.

**Keywords:** Asphalt pavement. Highways. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pavimento da Via Ápia .....	12
Figura 2 – Via Ostiense, ligando Óstia a Roma.....	12
Figura 3 – Via Urbana em Pompéia, Itália. ....	13
Figura 4 – Pavimentação urbana em Paraty, RJ .....	15
Figura 5 – Estrada União e Indústria – foto à época de sua construção (Concer, 1997). ....	16
Figura 6 – Distribuição da malha rodoviária no Brasil. Pesquisa CNT 2016.....	17
Fonte: Gómez-Pablo (2017, p.02) .....	17
Figura 7 – Toneladas de asfalto produzido no Brasil até o ano 2014. (United Nations).....	17
Fonte: Gómez-Pablo (2017, p.04) .....	17
Figura 8 – Distribuição de cargas em pavimentos rígidos e flexíveis. ....	19
Figura 9 – Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semi-rígidas. ....	19
Figura 10 – Pavimentos semi-rígidos. ....	20
Figura 11 – Ciclo de vida com atividade de preservação. [1] Preservação; [2] Reabilitação; [3] Reconstrução; [4] Atividades de preservação.....	24
Figura 12 – Principais vias com revestimento de Asfalto Borracha nas regiões sul e sudeste do país.....	25
Figura 13 – Asfalto Borracha começa a ser usado na região norte do país pelo estado do Pará. ....	25

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>11</b>
2.1	Histórico da pavimentação .....	11
2.2	Pavimentação no Brasil.....	14
2.3	Tipos de pavimentos.....	18
2.3.1	<i>Pavimento flexível.....</i>	18
2.3.2	<i>Pavimento rígido .....</i>	20
2.3.3	<i>Pavimento semi-rígido.....</i>	20
2.4	Materiais estruturais dos pavimentos .....	20
2.4.1	<i>Materiais de revestimentos asfálticos.....</i>	21
2.4.2	<i>Materiais utilizados nas demais camadas dos pavimentos. ....</i>	22
2.5	Pavimentação asfáltica: impactos econômicos e ambientais.....	22
2.6	Sustentabilidade na pavimentação asfáltica .....	23
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>26</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a sociedade mais do que nunca vem tomando consciência da importância do meio-ambiente para todos. Isto faz com que se busquem alternativas para minimizar os impactos das tecnologias trazidas pelo desenvolvimento.

É dentro deste contexto, que a pavimentação asfáltica e seus impactos econômicos e ambientais, foi o tema escolhido para a realização desta monografia. E por isto o objetivo deste trabalho é analisar os tipos de pavimentação asfáltica em rodovias e determinar as melhores técnicas de pavimentação asfáltica com suas vantagens e desvantagens, dando ênfase à pavimentação sustentável.

Justifica-se a realização desta pesquisa pela importância das rodovias para o desenvolvimento do Brasil, sendo essa sua principal forma de integração. Segundo Mattos (2009), as rodovias são importantes não só por integrar o Brasil, como também, são fundamentais para o seu desenvolvimento. Por isto, a engenharia precisa intervir de forma precisa, ajudando a promover técnicas que estimulem o desenvolvimento e que também visem a diminuição dos impactos ambientais trazidos por esta.

O sistema rodoviário brasileiro além de extenso não possui a devida conservação e manutenção e ainda existem muitas partes do território que não possuem rodovias pavimentadas. Segundo Silva (2017, p.03) “um país rodoviarista como o Brasil, que ainda transporta 62% de suas cargas e 96% dos seus passageiros por estradas, necessita urgentemente de melhorias do transporte viário”.

Para conseguir o embasamento teórico para realizar este trabalho foi feita uma revisão bibliográfica, realizada a partir da análise pormenorizada de materiais já publicados na literatura e artigos científicos divulgados através dos meios eletrônicos, monografias, entre outros, que conforme GIL (2008, p. 50-55), dentre os procedimentos técnicos, destaca a Pesquisa Bibliográfica: elaborada a partir da análise e interpretação do conteúdo de materiais como livros, artigos de periódicos, e textos da Internet, levando ao pesquisador buscar ideias relevantes ao estudo, com registro confiável de fontes.

O principal objetivo deste artigo é analisar os tipos de pavimentação asfáltica em rodovias e determinar as melhores técnicas de pavimentação asfáltica, com suas respectivas vantagens e desvantagens, dando ênfase à pavimentação sustentável.

Para um melhor entendimento sobre o assunto, a monografia foi dividida em três capítulos: I) Introdução; II) Desenvolvimento (que foi dividido em seções): Histórico da

Pavimentação, Pavimentação no Brasil, Tipos de Pavimentos, Materiais Estruturais dos Pavimentos, Pavimentação Asfáltica, Sustentabilidade; 3) Conclusões e Referências.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Histórico da pavimentação

A pavimentação asfáltica ao longo da história sofreu várias modificações até chegar como a conhecemos nos dias atuais. Pode ser dito que seu início foi no Egito Antigo (2.600 - 2.400 a.C), onde se construía lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. Sendo que para amenizar o atrito dos trenós que eram utilizados nos transportes de cargas, as vias eram constantemente umedecidas com água, azeite ou musgo molhado (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Muitas das estradas da antiguidade, como a de Semíramis <sup>1</sup>, transformaram-se nas estradas asfaltadas que conhecemos hoje. O sistema de estradas engloba várias partes do globo e foram sendo construídas a partir dos interesses das épocas, como religiosos (peregrinações) e comerciais. Sendo que os romanos<sup>2</sup> foram os maiores construtores na arte do planejamento e construção viária. O maior objetivo dos romanos era militar, tentando estabelecer a ordem em seu vasto território do império, sendo capazes com isto de implantar um sistema considerável com elevado nível de critério técnico (BERNUCCI *et al.*, 2010).

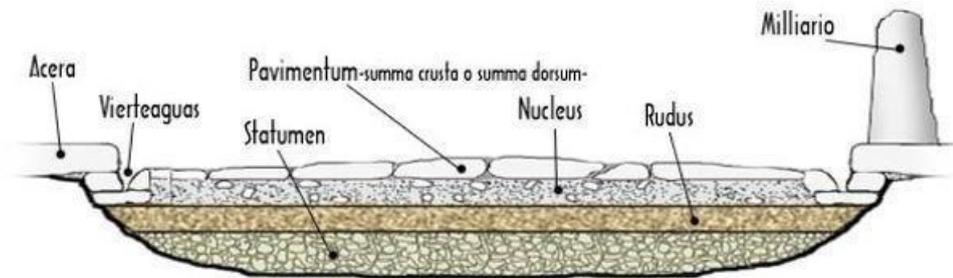
“Os romanos foram os primeiros a aperfeiçoar as estradas criando o que hoje chamamos de pavimentação, com objetivo de criar uma estrutura duradoura” (CAVA, 2019).

---

<sup>1</sup>Na região geográfica histórica do Oriente Médio, nos anos 600 a.C., a Estrada de Semíramis cruzava o rio Tigre e margeava o Eufrates, entre as cidades da Babilônia (região da Mesopotâmia – em grego, região entre rios – que abrangia na antiguidade aproximadamente o que é hoje o território do Iraque) e Ecbatana (reino da Média, no planalto iraniano). Na Ásia Menor ligando Iônia (Éfeso) do Império Grego ao centro do Império Persa, Susa (no Irã de hoje), há registro da chamada Estrada Real (anos 500 a.C.), que era servida de postos de correio, pousadas e até pedágio, tendo mais de 2.000km de extensão. À época de Alexandre, o Grande (anos 300 a.C.), havia a estrada de Susa até Persépolis (aproximadamente a 600km ao sul do que é hoje Teerã, capital do Irã), passando por um posto de pedágio, as Portas Persas, possibilitando o tráfego de veículos com rodas desde o nível do mar até 1.800m de altitude (BERNUCCI *et al.*, 2010, p.11).

<sup>2</sup>Vale notar que o sistema viário romano já existia anteriormente à instalação do império, embora o mesmo tenha experimentado grande desenvolvimento a partir de então. Portanto, há mais de 2.000 anos os romanos já possuíam uma boa malha viária, contando ainda com um sistema de planejamento e manutenção. A mais extensa das estradas contínuas corria da Muralha de Antonino, na Escócia, a Jerusalém, cobrindo aproximadamente 5.000km (HAGEN, 1955 *apud* BERNUCCI *et al.*, 2010, p.12).

Figura 1 – Pavimento da Via Ápia



Fonte: Cava (2019)

- **Acera:** calçada; **Viertheagus:** canaletas; **Statumen:** suporte; **Nucleus:** núcleo; **Rudos:** pedregulho; **Milliario:** marco da calçada; **Pavimentum:** pavimentação

A partir do século II, placas de pedras maiores começaram a ser utilizadas, geralmente em ruas principais. “Nas localidades nas quais se trabalhava o ferro, o resíduo da produção era usado na superfície das estradas servindo de material ligante das pedras e agregados, formando assim uma espécie de placa” (BERNUCCI *et al.*, 2010, p.13). Das estradas romanas a que ficou mais conhecida foi a Via Ápia, cujo nome homenageava seu construtor: Apius Claudius, que a criou no ano de 312 a.C. As FIG. 1 e FIG. 2 mostram exemplos de Vias Romanas antigas que ainda existem na Itália.

“As técnicas de pavimentação da Roma foram se aprimorando conforme a necessidade de expandir o território. As estradas romanas ligavam cidades e portos, para operações agrícolas” (CAVA, 2019).

Figura 2 – Via Ostiense, ligando Óstia a Roma



Fonte: Bernucci *et al.* (2010, p.14)

Figura 3 – Via Urbana em Pompéia, Itália



Fonte: Bernucci *et al.* (2010, p.14)

Seguindo o exemplo romano, a França no final dos anos 700 e início dos 800, começou a modernizar o país, destacando-se o progresso do comércio por meio da construção de boas estradas. A legislação francesa sobre construção e conservação de estradas data de 1790 e, a partir das experiências desenvolvidas em alguns países da Europa como Inglaterra, França, Escócia e Portugal começou a desenvolver alguns tratados sobre pavimentação. Mascarenhas Neto (1790) apresenta um Tratado para Construção de Estradas. Destacando-se a facilidade de Portugal em encontrar os materiais necessários para estas construções, como: saibro, tufo, calcários e arenosos, o que também diminuía seus gastos e facilitou a Portugal expandir suas rodovias (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Cava (2019) ainda explica que o uso do cimento *Portland*, deu grande impulso nas pavimentações, sendo utilizado em Grenoble na França e na cidade de Ohio, Estados Unidos em 1876. Mas, em 1870, foi construído o primeiro pavimento com revestimento betuminoso em New Jersey, Estados Unidos, pelo químico belga DeSmedt. Com estes eventos as técnicas de dimensionamento e especificações de materiais foram avançando ao longo dos anos,

surgindo a teoria de *boussinesq*<sup>3</sup>, teoria de *burmister*<sup>4</sup>, especificações para o uso de concreto asfáltico e novos materiais incorporados em misturas como o polímero e a borracha de pneu.

“Entre 1825 e 1895 foram criadas diversas teorias, como a teoria da elasticidade, a resistência dos materiais, a geodesia e a geometria. O que acabou contribuindo para o avanço de novas técnicas e de teorias para dimensionamento de estruturas dos pavimentos” (CAVA, 2019, p.01).

## 2.2 Pavimentação no Brasil

Albano (2007) relata que em 1524, quando Aleixo Garcia, cruza desde a cidade de Patos em Santa Catarina, o estado do Paraná e chega a Assunção por estar indo atrás das riquezas do Império Inca, atravessa uma trilha indígena que ficou conhecida como Peabiru. Ficou sendo considerada a primeira estrada brasileira.

Uma das primeiras estradas construídas no Brasil data de 1560, que era um caminho que ligava São Vicente ao Planalto Piratininga, era então o governador-geral do Brasil, Mem de Sá. Em 1661, o caminho foi recuperado sendo conhecido como Estrada do Mar (ou caminho do Mar), atualmente é conhecido como Estrada Velha do Mar (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Já a Estrada Real, termo utilizado em Minas Gerais, ou o Caminho do Ouro (termo utilizado em Paraty, RJ) tem sua origem ligada às primeiras trilhas existentes no Brasil, e que são atribuídas aos índios goianás que as utilizavam (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Albano (2007) ainda explica que estas trilhas ficaram conhecidas em 1674 através do desbravador e bandeirante Fernão Dias. Este mesmo caminho provisório posteriormente dará origem a estrada União Indústria.

Segundo Bernucci *et al.* (2010, p.17) quanto à Estrada Real (FIG. 3), devido à sua importância até hoje, ainda cabe ser dito:

A estrada possui dois caminhos, o velho, que liga Ouro Preto (MG) a Paraty (RJ), e o mais novo, que segue do Rio de Janeiro a Diamantina (MG), também passando por Ouro Preto. Ribas (2003), em uma rica cronologia comentada, indica que em 1660, Salvador Correia de Sá e Benevides, então governador e administrador geral das Minas (região que englobava o Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo), deu a

<sup>3</sup> As equações de boussinesq (1885) foram desenvolvidas para o caso de uma carga concentrada vertical aplicada sobre a superfície. Embora tenham sido de grande ajuda para a época em que foram formuladas, 1885, as equações não eram muito adequadas para o uso em pavimentos. Isso por que não era possível considerar o efeito da rigidez de diferentes camadas e como seria a distribuição de tensões (CAVA, 2019).

<sup>4</sup> Com o passar dos anos e observando as dificuldades enfrentadas com as equações de Boussinesq, o Engenheiro Geotécnico Donald Burmister formulou uma solução baseada nas equações de boussinesq para calcular tensões e deflexões em duas camadas (1943) e em 3 camadas (1945) (CAVA, 2019).

ordem de “abrir e descobrir” a trilha dos goianás, com a intenção de facilitar a ligação do Rio de Janeiro e São Paulo. Calçado para transportar o ouro das minas no século XVIII, melhorado para transportar o café no século XIX, o caminho foi abandonado e esquecido no século XX. Já no século XXI, o Caminho do Ouro está sendo reestruturado de modo a viabilizar a utilização turística dessa importante veia da história do Brasil.

Figura 4 - Pavimentação urbana em Paraty, RJ



Fonte: Bernucci *et al.* (2010, p.17)

Durante o período imperial foram poucos os desenvolvimentos e investimentos aos transportes rodoviários. Havendo no país 500 km de estradas com revestimento de macadame<sup>5</sup> ou variações (BERNUCCI *et al.*, 2010).

A Estrada de Rodagem União e Indústria<sup>6</sup> (FIG. 4), que liga a cidade de Petrópolis (RJ) a Juiz de Fora (MG), foi a primeira rodovia macadamizada da América Latina, inaugurada em 23 de junho de 1861 por Dom Pedro II (SANTANA NETO, 2012). Ainda existindo alguns trechos que foram incorporados pela BR 0-40/RJ.

<sup>5</sup> **Macadame** (do inglês *Macadam*) é um tipo de pavimento para estradas desenvolvido pelo engenheiro escocês John Loudon McAdam, *circa* 1820. Há 150 anos, o Brasil teve sua primeira rodovia pavimentada concluída, a Estrada União e Indústria, que liga Petrópolis (RJ) à Juiz de Fora (MG). A estrada foi inaugurada em 23 de junho de 1861 pelo imperador Dom Pedro II, durante o período colonial no Brasil. Construída com a mão de obra de colonos alemães, a rodovia foi pavimentada pelo método Macadame – o piso é composto por pequenas pedras, comprimidas de forma a se encaixarem umas nas outras. Considerada, até hoje, como um marco na engenharia brasileira e a primeira rodovia macadamizada da América Latina (ABDALA, 2011).

<sup>6</sup> Idealizada pelo comendador Mariano Procópio e inaugurada por D. Pedro II em 1860 é a primeira estrada brasileira a usar macadame como base/revestimento. Até então era usual o calçamento de ruas com pedras importadas de Portugal. Com uma largura de 7m, leito ensaibrado e compactado, macadame incluindo pedra passando na peneira de 5” de malha quadrada cuidadosamente drenada, inclusive com valetas de alvenaria, várias obras de arte, esta estrada tinha um traçado que permitia a então impressionante velocidade de 20km/h das diligências. Muito além do seu percurso de 144km, a União e Indústria representa um marco na modernização da pavimentação e do País (BERNUCCI *et al.*, 2010, p.18).

Figura 5 - Estrada União e Indústria – foto à época de sua construção (Concer, 1997)

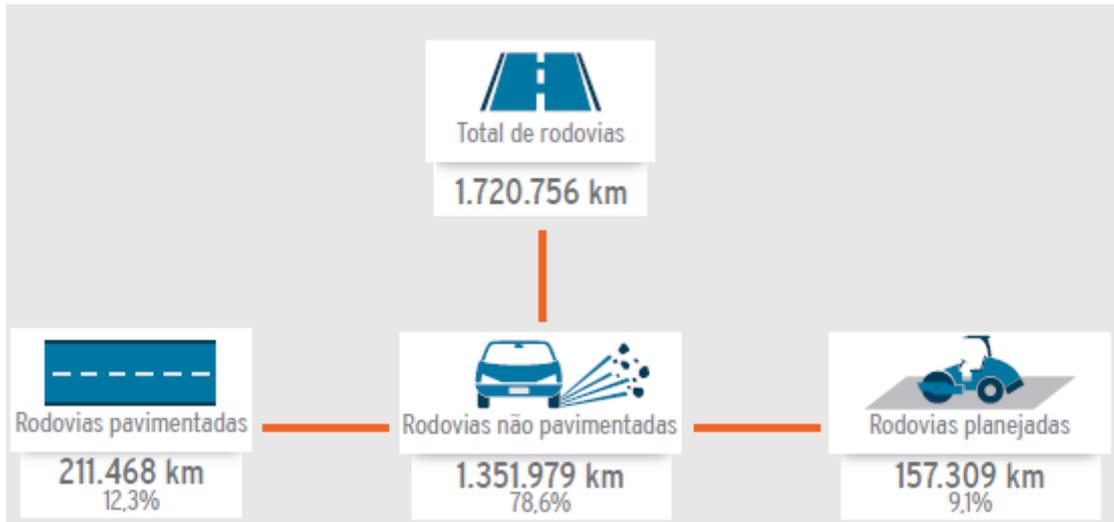


Fonte: Fonte: Bernucci *et al.* (2010, p.17)

De 1861 até 1921 algumas estradas começaram a ser construídas, não havendo ainda muita regulamentação sobre como deveriam ser. Os primeiros automóveis começaram a ser importados e houve a criação da primeira fábrica de montagem da Ford, ajudando a impulsionar o desenvolvimento brasileiro. Em 1921 com a Lei 1835-C o governo federal, cria a Diretoria de Obras Públicas, uma inspetoria para as estradas de rodagem, que estabelecia normas para o estudo, construção, conservação, segurança e policiamento das estradas de rodagem. Ficou conhecida como Lei Magnífica (ALBANO, 2007).

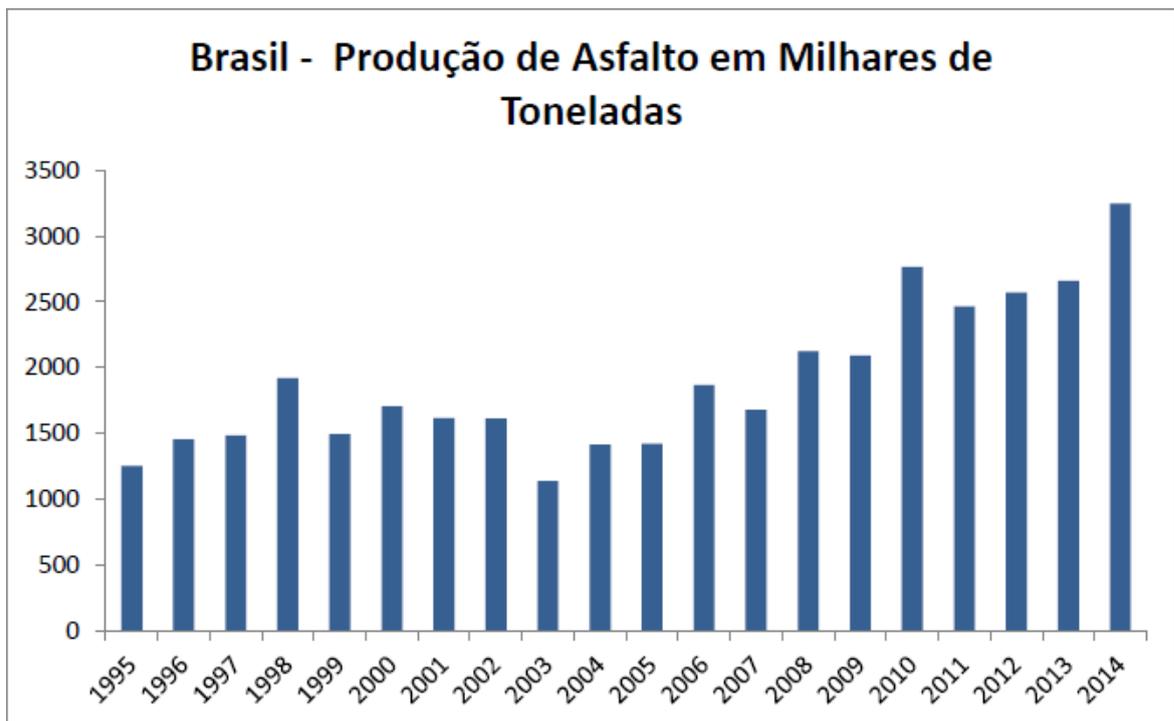
Merecendo destaque o ano de 1937 com a criação do DNER e do DAER/RS. Em 1950 o Brasil contava com uma malha rodoviária de 968 km. Foi em 1965, com a recomendação do arquiteto português Artur Diniz Raposo, que começa a existir a recomendação para a regularização das superfícies recém-acabadas, como a preparação para o plantio de cobertura vegetal, taludes de corte e aterro, além da remoção de entulhos que eram descartados sem nenhum cuidado. Dando, assim, início a maiores cuidados com a inserção de rodovias, com a paisagem rural e uma atitude de preservação ambiental (ALBANO, 2007).

Figura 6 - Distribuição da malha rodoviária no Brasil. Pesquisa CNT 2016



Fonte: Gómez-Pablo (2017, p.02)

Figura 7 - Toneladas de asfalto produzido no Brasil até o ano 2014. (United Nations)



Fonte: Gómez-Pablo (2017, p.04)

Os gráficos acima servem para ilustrar a situação rodoviária brasileira e a produção asfáltica. Segundo Gómez-Pablo (2017, p. 04) pode-se concluir que:

- investir na qualidade da infraestrutura e na gestão do transporte rodoviário é indispensável para aumentar a competitividade do Brasil, garantir a segurança das pessoas e das cargas e promover a sustentabilidade em âmbito nacional (CNT, 2016);
- a atual política de pavimentos não está dando o resultado esperado: quase 50% dos quilômetros das estradas têm problemas nos pavimentos;
- a política de recapeamento que não trata das bases, e que só consome asfalto como é mostrado na Produção Anual de Asfalto, abrem as portas à exploração de novas técnicas que permitam um melhor gerenciamento de pavimentos;
- neste contexto, a utilização de RCD e RSU<sup>7</sup>, as tecnologias de misturas mornas e a reciclagem de pavimentos se mostram como excelentes opções.

## 2.3 Tipos de pavimentos

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006) explica que existem três tipos de pavimentos, que são classificados em flexíveis, semirrígidos e rígidos.

A escolha do tipo de pavimento para as vias públicas está ligada ao estudo específico de cada obra, sendo que o projeto deve considerar as características como intensidade de tráfego, propriedades geotécnicas da região e a interface com o sistema de drenagem superficial. E a partir destas informações determinar se a pavimentação será flexível, semirrígida ou rígida (D'AGOSTIN, 2010).

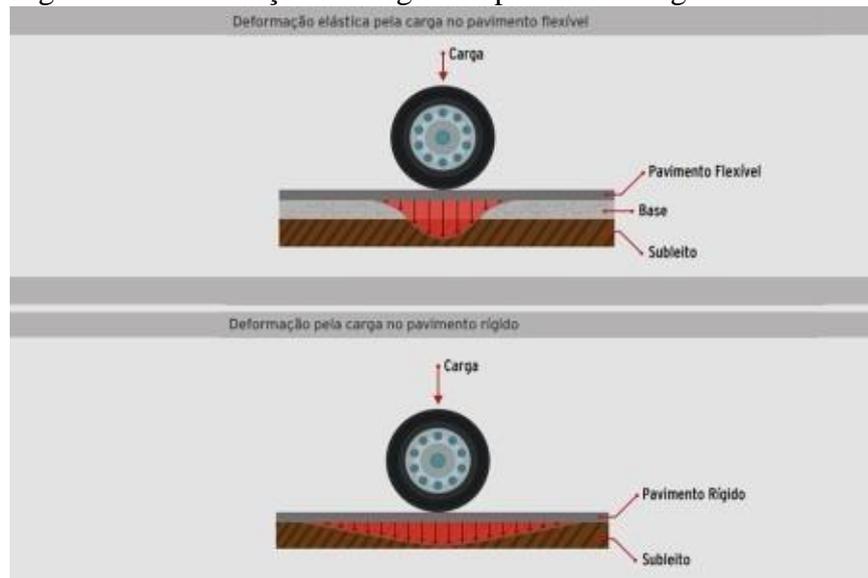
### 2.3.1 Pavimento flexível

De acordo com Manual de Pavimentação DNIT (2006, p.95): “nos pavimentos flexíveis todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas”. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica (FIG. 8).

---

<sup>7</sup> Por outro lado, a maioria dos resíduos sólidos urbanos (RSU) do Brasil não é reciclada ou reutilizada quando acaba seu ciclo de vida. Dentro dos RSU, se encontram os Resíduos da Construção e Demolição (RCD). São muitos os países que já incluem um uso de materiais recicláveis na produção de pavimentos, começando pelo asfalto, que segundo a FHWA é o material mais reciclado nos Estados Unidos. Por outro lado, a tecnologia para produzir mistura asfáltica a temperaturas mais baixas apresenta uma redução considerável na emissão de poluentes (GÓMEZ-PABLO, 2017, p.04).

Figura 8 – Distribuição de cargas em pavimentos rígidos e flexíveis



Fonte: Venescau (2010)

Os pavimentos flexíveis são compostos por camadas, que em geral são três:

1. sub-base;
2. base e
3. revestimento.

O pavimento flexível requer maior número de manutenções e é composto por revestimento asfáltico – concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) em uma estrutura de múltiplas camadas que dura, aproximadamente, 10 anos (FERNANDES, 2019).

Figura 9 – Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas



Fonte: DNIT (2006, p.96)

### 2.3.2 Pavimento rígido

“Aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento *Portland*” (DNIT, 2006, p.95).

O pavimento rígido exige menos intervenções de manutenção, auxilia na difusão de luz, ou seja, no período noturno pode auxiliar a iluminação das vias e ainda fornece boa aderência entre o pneu e o pavimento (FERNANDES, 2019).

Por ser um revestimento composto por placas de concreto de Cimento *Portland* (PCS) pode durar até 30 anos (FERNANDES, 2019).

### 2.3.3 Pavimento semirrígido

É um tipo de revestimento intermediário, entre o flexível e o rígido (ROSSI, 2016).

“Caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como, por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica” (DNIT, 2006, p.95) (FIG. 7).

Figura 10 – Pavimentos semirrígidos



Fonte: Rossi (2016, p.16)

## 2.4 Materiais estruturais dos pavimentos

Os materiais estruturais dos pavimentos, suas especificidades e os métodos construtivos devem ser pesquisados nas normas rodoviárias brasileiras ou na ABNT. Sendo que esses

materiais de base, sub-base e reforço do subleito são ainda classificados segundo seu comportamento frente aos esforços em materiais granulares e solos, materiais estabilizados quimicamente ou cimentados e materiais asfálticos (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Existem métodos variados de dimensionamento para pavimentos flexíveis, semirrígidos e rígidos (BRASIL, 2006a, p.95).

A existência de métodos de dimensionamento distintos pode ser atribuída às diversas condições ambientais, geológicas, geotécnicas e de tráfego.

Conforme Ferreira (2013), no Brasil, foi na década de 60 que o Eng. Murillo Lopes de Souza propôs um novo método de dimensionamento de pavimentos que é, ainda hoje, o método empírico de dimensionamento do DNIT.

A Capacidade de Suporte do subleito e dos materiais constituintes dos pavimentos é feita pelo *California Bearing Ratio* (CBR), adotando-se o método de ensaio preconizado pela Norma DNER-ME 049/94 (DNIT, 2006).

#### **2.4.1 Materiais de revestimentos asfálticos**

Segundo Rossi (2016, p.19-20) os materiais utilizados para a camada de revestimento variam de acordo com o tipo de pavimento: flexível, rígido ou semirrígido. No caso dos revestimentos asfálticos eles podem se apresentar através de três tipos:

- A. **Cimento Asfáltico (CAP):** segundo a definição de (PINTO E PINTO, 2015) o cimento asfáltico é o asfalto obtido especialmente para apresentar características adequadas para o uso na construção de pavimentos, podendo ser resultado de destilação de petróleo em refinarias ou do asfalto natural encontrado em jazidas.
- B. **Asfalto diluído (AD):** segundo a definição de (PINTO E PINTO, 2015) o asfalto diluído ou *cut-backs* são diluições de cimentos asfálticos em solventes derivados do petróleo de volatilidade adequada, quando há necessidade de eliminar o aquecimento do CAP ou utilizar um aquecimento moderado.
- C. **Emulsões asfálticas (EAP):** segundo a definição de (PINTO E PINTO, 2015) emulsão asfáltica de petróleo é uma dispersão coloidal de uma fase asfáltica em uma fase aquosa (direta) ou, então, de uma fase aquosa dispersa em uma fase asfáltica (inversa), com a ajuda de um agente emulsificante. É obtida pela combinação de água com asfalto aquecido, em um meio intensamente agitado e na presença dos emulsificantes, cujo objetivo é oferecer certa estabilidade ao conjunto, favorecer a dispersão e revestir os glóbulos de betume de uma película protetora, mantendo-os em suspensão.

### 2.4.2 Materiais utilizados nas demais camadas dos pavimentos

Depois que a estrutura do pavimento é composta, algumas camadas serão construídas após a terraplenagem do local, em cima do subleito e vão variar conforme a solicitação do tráfego no local. Toda a estrutura do pavimento está acima do subleito que funciona como a fundação do sistema que irá receber os esforços absorvidos pelo pavimento. Acima desse subleito, basicamente, a estrutura do pavimento é constituída de uma regularização do subleito, um reforço de subleito, caso haja necessidade, uma sub-base acima desse reforço de subleito, seguido de uma base e, por fim, um revestimento (ROSSI, 2016).

Conforme Levy (2009, [p.37](#)):

Sub-bases são elementos estruturais intermediários entre o piso em concreto e o subleito, e dentre diversas funções tem como principal o controle de deformações oriundas do piso, de forma a compatibilizar o comportamento mecânico das placas com o subleito. Em outras palavras a sub-base é responsável pela transferência dos esforços gerados pelo piso para a fundação - subleito.

Elas podem ser divididas em dois grupos: granuladas e estabilizadas. As granulares podem ter granulometria fechada ou aberta, sendo a última mais usual em pisos industriais. Quanto às estabilizadas as mais comuns são constituídas por solo cimento e brita graduada tratada com cimento (B.G.T.C.).

## 2.5 Pavimentação asfáltica: impactos econômicos e ambientais

Mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico. Portanto, o Brasil é um país predominantemente rodoviarista. Sua principal finalidade é permitir “o deslocamento humano entre diferentes regiões, o transporte de alimentos, cargas, materiais e turismo, que influenciam diretamente na consolidação da economia e no desenvolvimento regional como forma de integração social, econômica, cultural e política” (SILVA, 2017, p.06).

Para a realização de um projeto de pavimentação de rodovias deverão ser levados em consideração, de preferência, todas as variáveis possíveis, e não somente a solução econômica mais viável. Variáveis como, por exemplo: o desgaste futuro da estrutura, o seu desempenho funcional, levando-se ainda em consideração as condições de tráfego, os impactos econômicos e ambientais (D’AGOSTIN, 2010).

A construção de rodovias é de extrema importância para melhoria da qualidade de vida da população, além de subsidiar o desenvolvimento dos aspectos socioeconômicos trazendo benefícios para a população local, no que tange o setor econômico, facilitando o transporte de

mercadorias, aumentando a geração de renda e novas oportunidades de emprego (MAGALHÃES, 2011).

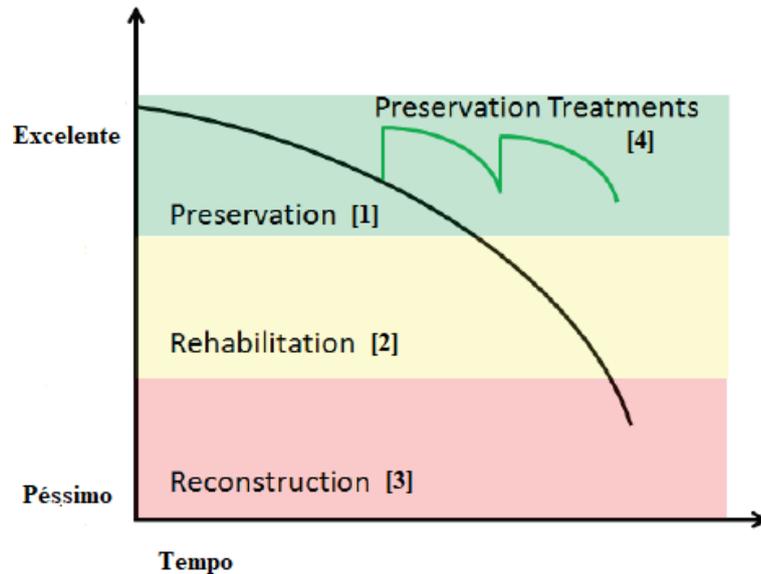
Quanto aos aspectos ambientais Magalhães (2011) explica que ao se construir uma rodovia, primeiramente, deve ser feito um levantamento dos possíveis impactos ambientais na área de abrangência, verificando com isto, os possíveis danos que a pavimentação da mesma poderá causar ao meio físico, biótico e antrópico, com a intenção de se conhecer a área de implantação do empreendimento. Estas avaliações devem ser feitas na hora do planejamento da obra com o objetivo de se tomar medidas preventivas, para que este impacto seja o menor possível e, caso ele seja gerado, possam ser tomadas medidas compensatórias e de recuperação, nas quais os danos gerados possam ser compensados.

## **2.6 Sustentabilidade na pavimentação asfáltica**

O pavimento possui um ciclo de vida, em que sua durabilidade é variável, o que lança sempre o questionamento e o levantamento de novas formas de manutenção e de novos materiais que possam contribuir para uma maior durabilidade, sendo utilizados da forma mais sustentável possível (GÓMEZ-PABLO, 2017).

A princípio, a manutenção da pavimentação existente se torna uma atividade sustentável, visto que emprega tratamentos de baixos custos e impacto ambiental o que prolonga a vida útil do pavimento ou atrasa as principais atividades de reabilitação. Reduzindo, assim, a utilização de novos materiais e ao mesmo tempo reduzindo as emissões de GEE (Gases Efeito Estufa) durante o ciclo de vida. Pavimentos bem conservados, além de, fornecerem superfícies mais suaves, diminuem as taxas de ruído, contribuem para uma maior eficiência do combustível, diminuem as taxas de acidentes, contribuindo de forma positiva para a sustentabilidade de uma forma geral (FIG. 11) (GÓMEZ-PABLO, 2017).

Figura 11 – Ciclo de vida com atividade de preservação. [1] Preservação; [2] Reabilitação; [3] Reconstrução; [4] Atividades de preservação



Fonte: Gómez-Pablo (2017, p.25)

Conforme ainda explica Gómez-Pablo (2017, p.25) sobre a manutenção das estradas pavimentadas no Brasil:

Especialistas das universidades reclamam que a falta de manutenção preventiva dos pavimentos no Brasil é uma das principais causas de sua precoce degradação. Segundo eles, a falta de planejamento de manutenção “faz parte da cultura brasileira” e estaria tão incorporado no dia a dia dos órgãos públicos rodoviários, em que, muitas vezes, o orçamento para realização dessa atividade sequer é previsto no planejamento de uma nova rodovia (CNT, 2017).

Além da manutenção como foi explicado acima, outra alternativa para a sustentabilidade é buscar novos materiais que possam ser reaproveitados como forma de contribuir com a natureza e, permitam seu reaproveitamento para a pavimentação.

Um destes tipos de materiais que podem ser reaproveitados são os pneus, que são descartados na natureza de qualquer forma, contribuindo para o acúmulo de lixo e poluição do meio ambiente. Os pneus oferecem a vantagem de ser de borracha, contribuindo assim com uma menor necessidade de se retirar sua matéria prima natural ou de sua fabricação sintética (SILVA, 2017).

“Em agosto de 2001 ocorreu a primeira aplicação do asfalto borracha no Rio Grande do Sul, realizado pela GRECA asfaltos, empresa pioneira em asfalto borracha no Brasil, o ECOFLEX” (SILVA, 2017, p.15). Atualmente o produto está em sua 3ª geração, utilizando-se

da operação de usinagem a quente das massas asfálticas, contribuindo também para a diminuição de emissões de CO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> (SILVA, 2017).

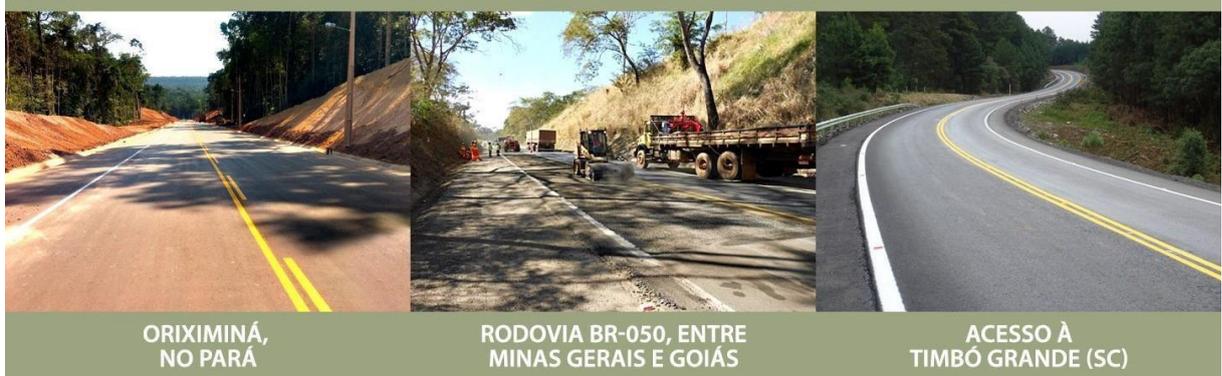
Nas FIG. 12 e FIG. 13 as principais vias brasileiras que receberam o asfalto borracha.

Figura 12 - Principais vias com revestimento de Asfalto Borracha nas regiões sul e sudeste do país



Fonte: Silva (2017, p.16)

Figura 13 - Asfalto Borracha começa a ser usado na região norte do país pelo estado do Pará.



Fonte: Silva (2017, p.16)

Ainda existem outros tipos de materiais que podem ser utilizados, como:

- **Escória de Aciaria** - No Brasil, cerca de 3 milhões de toneladas/ano de escória de aciaria são gerados pelas usinas siderúrgicas. A indústria da construção civil pode consumir este resíduo, mas, para que ele seja aplicado convenientemente, é necessário que suas características sejam conhecidas e, eventualmente, modificadas. Algumas aplicações da escória de aciaria, em virtude do seu alto teor de ferro, podem ser identificadas, como, por exemplo, adição na produção do cimento *Portland* férrico. É possível, ainda, o emprego da escória de aciaria em lastro ferroviário, na produção de revestimento asfáltico (em conjunto com a escória de alto-forno), na produção de drenos, canaletas e pavimentos pré-moldados de concreto, na proteção de taludes, na construção de estacionamentos e pátios industriais e em pavimentos de estradas vicinais (POLESE, 2006, p. 444-445).
- **Reciclagem de Pavimentos** - A reciclagem do pavimento asfáltico consiste na utilização do material presente em asfaltos danificados para que sejam reabilitadas as próprias estradas, utilizando o material para que novas pavimentações possam ser feitas sem a necessidade de extrair e consumir mais matérias-primas. A reciclagem do pavimento asfáltico pode representar uma grande ajuda para a preservação do meio ambiente. Isso porque, ao utilizar o material danificado para a realização de uma nova pavimentação, evita-se que o material seja descartado inadequadamente em lixões ou em vias públicas, onde poderia contaminar o meio ambiente com a química de petróleo contida no material da pavimentação (FRAGMAG, 2017).
- **Agregado Reciclado** - Os resíduos de construção e demolição (RCD) são gerados em grande escala em todo o mundo. Paralelamente a isso, uma conscientização de um desenvolvimento sustentável é necessária para a perduração da humanidade. Uma alternativa para o RCD é sua utilização em camadas de pavimentos após ser submetido ao beneficiamento da reciclagem. Sendo o Brasil um país onde, aproximadamente, 90% de todo o sistema viário ainda não é pavimentado, a alternativa de utilização do agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em pavimentação se torna muito interessante. Além disso, o uso do agregado reciclado em pavimentação deve ser incentivado, pois seu preço é inferior ao de materiais convencionais (em São Paulo é cerca de 30% mais barato que a brita graduada simples), além de dar uma destinação adequada para o grande volume de resíduo de construção e demolição gerado, reduzindo problemas ambientais presentes e futuros (ABDOU; BERNUCCI, 2007, p.15).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta revisão bibliográfica foi possível rever alguns pontos importantes sobre a pavimentação asfáltica. O setor rodoviário é fundamental para o desenvolvimento econômico do país. As estradas rodoviárias por onde acontecem os tráfegos, precisam oferecer conforto e principalmente segurança para que os usuários possam ter uma boa condição de trafegabilidade.

Além das condições de se permitir um tráfego melhor e com mais qualidade, não se deve esquecer que existem novas tecnologias que são capazes de reduzir custos, melhorar a qualidade da pavimentação e ter um menor impacto sobre a natureza.

Por isto torna-se necessário um maior entendimento dos benefícios éticos e econômicos (a longo prazo), além do apoio por parte governamental, principalmente com o ato de adotar a tecnologia que, atualmente, só é adotada por concessionárias de rodovias.

A pavimentação ecológica surge como uma alternativa viável sobre diversos aspectos: econômicos (pois reduz os custos, o preço dos materiais reciclados é menor do que dos materiais convencionais, principalmente com a utilização dos agregados), ambientais (visto que o que seria lixo passa a ser reciclado, ajudando na manutenção e preservação do meio ambiente) e sociais (menos lixo, menos poluição, menor necessidade de exploração de novas jazidas minerais, dentre outros), portanto a sociedade ganha como um todo.

A pavimentação ecológica é muito utilizada em pátios de estacionamento, porém pode ser utilizada em rodovias. A falta de informações, que frisam a importância de seu uso e como ela é econômica e sustentável, faz com que seja pouco utilizada.

## REFERÊNCIAS

- ABDOU, Moisés Ribeiro, BERNUCCI, Liedi Bariani. **Pavimentação ecológica: uma opção para a pavimentação de vias das grandes cidades.** 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267206528>. Acesso: 05 de out. de 2020.
- ABDALA, Vitor. Agência Brasil - **Primeira rodovia pavimentada no Brasil.** 2011. Disponível em: <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2011-06-23/primeira-rodovia-pavimentada-no-brasil-comemora-hoje-150-anos>. Acesso: 20 de set. de 2020.
- ALBANO, João Fortini. **Evolução das vias.** 2007. Disponível em: [http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/420\\_03-evolucao\\_das\\_vias.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/420_03-evolucao_das_vias.pdf). Acesso: 05 de out. de 2020.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação.** 3ª ed. Rio de Janeiro: 2006.
- BERNUCCI, Liedi B. *et al.* **Pavimentação Asfáltica.** 3ª Reimpressão. ABEDA: Rio de Janeiro: 2010.
- CAVA, Felipe. **Da rocha ao asfalto: a história da pavimentação.** 2019. Disponível em: <https://alemdainercia.wordpress.com/2019/03/13/da-rocha-ao-asfalto-a-historia-da-pavimentacao/>. Acesso: 20 de set. de 2020.
- CNT. 2016. **Pesquisa CNT de rodovias 2016:** relatório gerencial. Brasília: Confederação Nacional de Transporte - CNT, 2016.
- D'AGOSTIN, Francini Giassi. **Dimensionamento de pavimento flexível e análise entre os custos de projeto de revitalização e análise comparativa entre os custos do projeto de revitalização e uma proposta de reconstrução da SC-446 – Rodovia Governador Jorge Lacerda.** Monografia (Graduação). Universidade Do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, SC: 2010.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS – DER/MG. Diretoria de Projetos. Grupo Permanente de Normas Técnicas - GNT. **Manual de Procedimentos para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários,** volume I – Estudos Tráfego, Capacidade e Níveis de Serviço. 2ª Ed – Belo Horizonte, 2013.
- DNIT. **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro: Ministério dos transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte, 2006..Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/historico/>. Acesso: 20 de set. de 2020.
- FERNANDES, Aline. **Pavimento rígido x Pavimento flexível.** 2019. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/pavimento-rigido-flexivel/>. Acesso: 20 de set. de 2020.

FERREIRA, Felipe de Almeida. **Análise do Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos utilizando o Programa SisPavBR**. Rio de Janeiro: UFRJ. Escola Politécnica, Rio de Janeiro: 2013.

FRAGMAQ. (Site). **Entenda como acontece a reciclagem do pavimento asfáltico**. 2017. Disponível em: <https://www.fragmaq.com.br/blog/entenda-como-acontece-reciclagem-de-pavimento-asfaltico/>. Acesso: 20 de set. de 2020.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GÓMEZ-PABLO, Francisco Guerreiro. **Práticas sustentáveis nos pavimentos e sua possível aplicação no mercado brasileiro: presente e futuro**. UFRJ. ESCOLA POLITÉCNICA: Rio de Janeiro: 2017.

LEVY, Ioel. **Subleito e sub-base**. Suas especificações. 2009. Disponível em: [http://www.anapre.org.br/boletim\\_tecnico/edicao15.asp](http://www.anapre.org.br/boletim_tecnico/edicao15.asp). Acesso: 20 de set. de 2020.

MAGALHÃES, Ivo Augusto Lopes. Identificação dos impactos ambientais relacionados à pavimentação da rodovia MG 307 no município de Grão Mongol – MG. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.5, p. 10 – 16 dezembro de 2011.

MATTOS, Kelly Cristina Andrade. **Processos de instabilização em taludes rodoviários em solos residuais arenosos: Estudo na rodovia Castelo Branco**. (Dissertação) Universidade de São Paulo, Faculdade de Engenharia. São Carlos, SP: 2009.

POLESE, Marina de Oliveira, Caracterização Microestrutural da escória de Aciaria. **Revista Matéria**, v. 11, n. 4, pp. 444 – 454, 2006.

ROSSI, Anna Carolina. **Etapas de uma obra de pavimentação e dimensionamento para uma via na Ilha do Fundão**. UFRJ. Escola Politécnica. Rio de Janeiro: 2016.

SANTANA NETO, Antônio Pinto. História das pavimentações no Brasil. 2012. Disponível em: <https://www.monografias.com/pt/docs/Hist%C3%B3ria-da-pavimenta%C3%A7%C3%A3o-no-brasil-F3C52GJQ7X>. Acesso: 20 de set. de 2020.

SILVA, Cristina Ferreira da. **Estudo das vantagens e utilização do asfalto borracha**. Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA). Palmas, TO: 2017.

VENESCAU, Ricardo. **Estruturas e tipos de pavimentos**. 2010. Disponível em: <http://engenhariarodoviaria.com.br/estrutura-e-tipos-de-pavimentos/>. Acesso: 20 de set. de 2020.

WAYHS, Carlos Alberto Simões Pires. (Mestrado) **Estudo de materiais alternativos utilizados em pavimentação de baixo custo na região noroeste do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, RS: 2004.