

ESTUDO COMPARATIVO DA VIABILIDADE DO ASFALTO CONVENCIONAL E O ASFALTO BORRACHA NAS VIAS URBANAS DO BAIRRO CAMPESTRE EM MONTE CARMELO-MG

Laryssa de Freitas Souza¹

Kevin Reiny Rocha Mota²

RESUMO

Entre os meios de transporte que abrangem o território brasileiro, destaca-se a mobilidade por meio das rodovias. É importante que haja investimentos na infraestrutura das rodovias, para garantir a segurança dos que usufruem do serviço. Além do mais, investimento torna-se sinônimo de qualidade e de crescimento econômico. Este trabalho teve como objetivo elaborar uma análise comparativa entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha, abordando viabilidade, durabilidade, custos de aplicação, execução e manutenção, para a substituição do asfalto convencional por meio da incorporação da borracha de pneus inservíveis, com vistas ao melhor desempenho do asfalto e ao descarte correto de pneus desgastados. Os procedimentos metodológicos da pesquisa consistiram em análise documental de informações fornecidas pela Prefeitura Municipal de Monte Carmelo e também em dados referente à SETOP - Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais e ao SINAPI - Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil. De acordo com as informações analisadas verificou-se que há melhoria das características do revestimento asfáltico com a incorporação de borracha moída de pneus inservíveis, que proporciona melhor desempenho, conforto, segurança aos usuários, durabilidade e economia, quando comparado com o asfalto convencional, além de dar uma destinação ecologicamente correta aos pneus velhos, como propôs o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução n.º 258. No Brasil, são descartados mais de 30 milhões de pneus ao ano e eles podem alcançar uma durabilidade de até 600 anos. A escolha pela utilização do asfalto-borracha deveu-se ao fato de se tornar um material mais resistente, necessitando de menos manutenção. Em relação ao custo orçamentário realizado com base nas pesquisas de preços atualizados de acordo com o SETOP e SINAPI, constatou-se um custo menor para o asfalto-borracha, que se tornou mais viável no longo prazo.

Palavras-Chave: Revestimento asfáltico. Asfalto borracha. Sustentabilidade. Manutenção.

Custos.

ABSTRACT

Among the means of transportation that cover the Brazilian territory, mobility through the highways stands out. It's important there are investments in highway infrastructure to ensure the safety of service users. Moreover, investment is synonymous with quality and economic growth. This paper aimed to carry out a comparative analysis between conventional asphalt and rubber one, addressing feasibility, durability, application, execution and maintenance costs, for replacing conventional asphalt by incorporating rubber from unusable tires for better asphalt performance and proper disposal of worn tires for better asphalt performance and proper

¹ Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Mário Palmério - UNIFUCAMP

² Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU

disposal of worn tires. Research methodological procedures consisted of documentary analysis of information provided by Monte Carmelo City Hall and also in data referring to the Minas Gerais State Department of Transportation and Public Works (SETOP) and the National System of Prices and Indexes for Civil Construction (SINAPI). The Results showed that the characteristics of the asphalt coating improved with the incorporation of ground rubber, with better performance, comfort, safety to the users, durability and economy, when compared to conventional asphalt in addition to giving an environmentally friendly destination to old tires as proposed by the National Environment Council (CONAMA), through Resolution nr. 258. In Brazil, more than 30 million tires are discarded per year and they can reach a durability of up to 600 years. The choice to use rubber asphalt was due to the fact that it becomes a more resistant material and requires less maintenance. Concerning to budget cost based on price surveys updated in accordance with SETOP and SINAPI, we noted lower cost for rubber asphalt, which became more viable in the long run.

Keywords: Asphalt coating. Rubber asphalt. Sustainability. Maintenance. Costs.

1 INTRODUÇÃO

Entre os meios de transporte que abrangem o território brasileiro, destaca-se a mobilidade por meio das rodovias. Números comprovam a utilização desse meio de condução, sendo 60% para transporte de cargas e 90% para uso doméstico, de acordo com pesquisas. É importante que haja investimentos na infraestrutura das rodovias, para garantir a segurança dos que usufruem do serviço. Além do mais, investimento torna-se sinônimo de qualidade e de crescimento econômico (CNT, 2007).

O pavimento asfáltico é constituído por camadas de espessuras variadas, e cada uma delas possui funções específicas, como: suporte de esforços, ações climáticas, recebimento de tensão vertical (compressão), tensão horizontal (cisalhamento), entre outros. Tais camadas são compostas por revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito. Todas essas características influenciam na escolha do tipo de pavimento, visto que devem ser analisados os aspectos técnicos, financeiros e sustentáveis para elaborar projetos, que, devidamente dimensionados, apresentem um bom desempenho (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Consideram-se, basicamente, duas categorias de pavimentos: rígidos e flexíveis. O pavimento rígido é formado por placas de concreto de cimento Portland, no qual grande parte dos esforços são absorvidos por apenas uma camada. Já o pavimento flexível é composto por uma base granular e um revestimento asfáltico betuminoso e os esforços são divididos entre as camadas, para uma melhor absorção. Outro pavimento existente é o semirrígido que seria um intermediário entre o rígido e o flexível, um revestimento betuminoso com base cimentada. No Brasil, é mais utilizado o pavimento flexível (BALBO, 2007).

Atualmente, os pavimentos apresentam alta deterioração, ocasionada pelo volume de tráfego, pela falta de manutenção, por temperaturas elevadas e por excesso de carga. Defeitos como deformação permanente e trincado por fadiga surgem frequentemente, devido à inadequada utilização da estrutura. Para mudar essa situação, é preciso investir em revestimentos asfálticos de alto desempenho, que apresentem características melhores e mais adequadas que o ligante asfáltico convencional. Adicionar ligantes modificados às misturas asfálticas pode ser uma alternativa para alcançar qualidades mais resistentes e duráveis para rodovias e para vias urbanas (GRECA ASFALTOS, 2009).

A busca por novas tecnologias para a pavimentação asfáltica junto ao apelo sustentável, originou a proposta de incorporação de materiais reciclados aos pavimentos. Os pneus de automóveis são constituídos por cerca de 16 a 20% de borracha natural e de 26 a 31% de borracha sintética; já os pneus de caminhões possuem cerca de 31 a 33% de borracha natural e de 16 a 21% de borracha sintética. O emprego da borracha extraída dos pneus descartados é uma inovação em projetos asfálticos, que permite dar um destino ecologicamente correto aos pneus, uma vez que, no Brasil, são descartados, aproximadamente, mais de 30 milhões de pneus ao ano em locais inadequados (ODA *et al.*, 2001).

Segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução n.º 258 de 26 de agosto de 1999, cabe aos produtores e importadores de pneus a obrigação de recolher os pneus inservíveis e dar-lhes destinação final. Aproximadamente 95% das estradas brasileiras são pavimentadas por revestimento asfálticos (mistura de agregados, ligantes e produtos complementares). A distribuição do asfalto é regulamentada pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), Gás Natural e Biocombustíveis.

O asfalto-borracha é um ligante asfáltico com a inserção do polímero na composição do CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), obtido pela trituração dos pneus. A borracha proporciona à mistura asfáltica maior resistência ao aparecimento de deformações, mais flexibilidade, diminuição dos ruídos e maior aderência, o que evita derrapagens e reduz o spray causado pelos pneus em dias de chuva. Partindo da premissa de que o composto asfalto-borracha tem uma durabilidade maior, sua vida útil torna-se superior em relação ao pavimento convencional. No Brasil, de acordo com a Greca Asfaltos (2009), emprega-se o asfalto-borracha desde 2001, mas não em larga escala.

A realização deste trabalho justifica-se, por acreditar-se em inovações e um constante aperfeiçoamento de técnicas, reciclagem, aproveitamento e sustentabilidade. Entre essas alternativas, tem-se a utilização da borracha de pneus descartados que, incorporados ao ligante

asfáltico, contribuem para o aumento da durabilidade, da resistência, da qualidade e do melhor desempenho do pavimento. Dessa maneira o trabalho propõe-se a apresentar os benefícios da aplicação do asfalto-borracha em vias urbanas e rodovias que ainda utilizam somente o asfalto convencional.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

O objetivo do trabalho é elaborar uma análise comparativa entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha, relacionando viabilidade, durabilidade, custos de aplicação, execução e manutenção, para a substituição do asfalto convencional por meio da incorporação da borracha de pneus, de forma a contribuir para um melhor desempenho do asfalto e o descarte correto de pneus desgastados.

1.1.2 Objetivos específicos

- Demonstrar as características dos pavimentos e seus componentes;
- Verificar a durabilidade e a manutenção do pavimento;
- Apontar a sustentabilidade do uso da borracha dos pneus na produção do asfalto-borracha;
- Comparar os resultados dos custos entre o asfalto-borracha e o asfalto convencional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimento Rodoviário

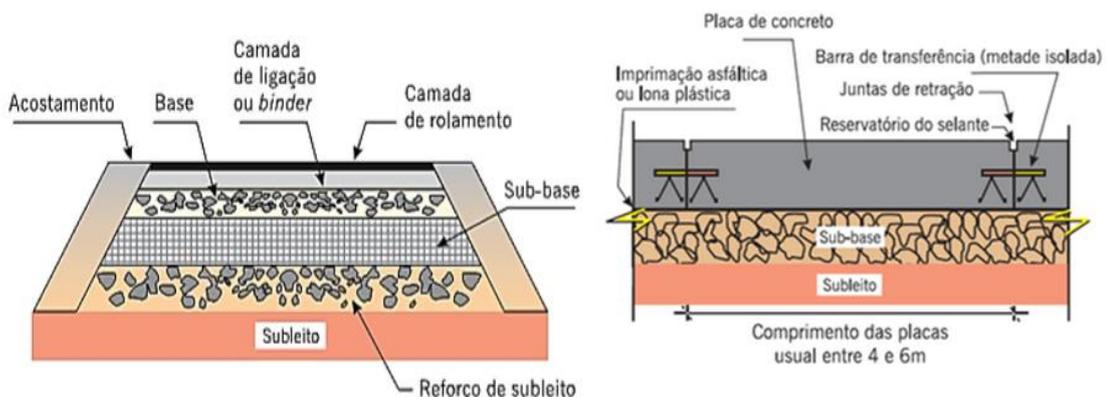
O pavimento consiste em uma estrutura de várias camadas de espessuras distintas, cuja função é suportar e permitir o tráfego de veículos, propiciando, sobretudo, segurança e conforto aos seus usuários. Nesse contexto, um pavimento rodoviário deve fornecer características funcionais atreladas às exigências dos usuários e à qualidade de sua estrutura, destinada a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos. Além do mais, o pavimento rodoviário também está sujeito às degradações decorrentes das ações climáticas, tais como chuvas, variações da temperatura, ventos, entre outras (BRANCO *et al.*, 2016).

Os pavimentos rodoviários são classificados quanto à sua estrutura e podem ser do tipo flexível, rígido ou semirrígido. O pavimento rígido apresenta elevada resistência e durabilidade, com uma vida útil que pode perdurar por muitos anos, além da baixa necessidade de manutenção. Suas camadas constituintes são projetadas para suportar trações consideráveis,

decorrentes da resistência oriunda das placas de concreto que compõem sua estrutura, apoiada sobre uma camada de granulometria grosseira ou algum outro material de considerável capacidade de carga. Por outro lado, os pavimentos semirrígidos se caracterizam por uma resistência intermediária, quando comparados aos pavimentos flexíveis e rígidos (MARQUES, 2006).

Os pavimentos flexíveis são formados por camadas cujo objetivo é distribuir toda a carga da maneira mais homogênea, o que é possível pela deformação elástica sofrida em todas as camadas. Em geral, suportam menores trações (quando comparados aos pavimentos rígidos e semirrígidos) e são constituídos, basicamente, por uma camada superficial (asfalto), seguidas de camadas de base, sub-base, reforço do subleito e subleito; em geral, são compostas por materiais granulares e por solo (MARQUES, 2006). A seguir, na Figura 1, apresenta-se um comparativo entre a estrutura do pavimento flexível e o pavimento rígido.

Figura 1 - Comparativo entre a estrutura do Pavimento Flexível e o Pavimento Rígido



Fonte: Bernucci, *et al.* (2008).

O pavimento é composto, inicialmente, pelo subleito, que é o terreno de fundação, onde será construído e apoiado todo o pavimento. É constituído de material natural consolidado e compactado. Ressalva-se que a escolha da fundação mais apropriada à construção deve estar calculada em estudos prévios do perfil geológico do solo, uma vez que se podem encontrar camadas com diferentes capacidades de carga em um mesmo ponto amostral. Nesse aspecto, normalmente analisa-se o solo por meio de sondagens, perfurando suas camadas até, aproximadamente, três metros abaixo da superfície (SENÇO, 2007).

Existem diversas metodologias para o dimensionamento dos pavimentos, entre elas, o ensaio de Capacidade de Suporte Califórnia (CBR), que foi um dos que mais influenciaram o método de dimensionamento de pavimentos rodoviários do Departamento Nacional de Estradas

e Rodagem (DNER). Esse método é obtido por meio de ensaio penetrométrico em laboratório, relacionando à resistência desse solo com a de uma amostra padrão (SENÇO, 2007).

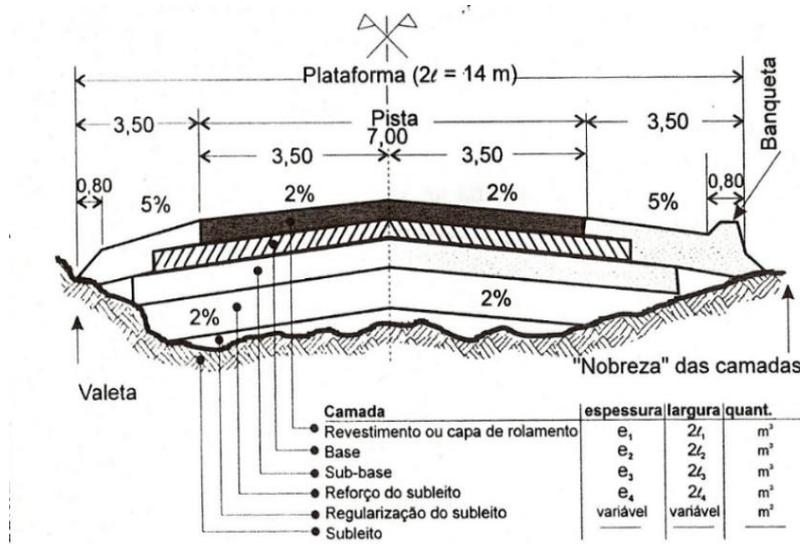
Regularização do subleito é a camada irregular, destinada a reparar falhas de terraplanagem, por meio de cortes e aterros de espessura (SENÇO, 2007). Segundo esse autor, o reforço do subleito é a camada construída, quando necessário, acima da regularização. É destinada à adequação das qualidades do subleito e à regulamentação da espessura da sub-base. Ainda, a sub-base é a camada complementar à base, sobretudo quando não há conveniência na construção da base diretamente sobre o leito regularizado.

A base consiste na camada destinada a resistir aos esforços e às ações do tráfego. Além disso, também é responsável pela distribuição das cargas às camadas situadas abaixo de sua estrutura (SENÇO, 2007). Por fim, o revestimento ou capa de rolamento corresponde à camada mais externa do pavimento. Recebe diretamente a ação de rolamento dos veículos, sendo, por isso, projetada para resistir ao desgaste frequente e oferecer maior segurança aos seus usuários. Além disso, sua estrutura é projetada para não admitir quaisquer tipos de infiltração, o que garante ao revestimento vedação eficaz contra a penetração de água (SENÇO, 2007).

Uma das misturas usinadas mais utilizadas para revestimento no Brasil é o Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ), que é uma combinação de agregados de diferentes granulometrias e cimento asfáltico, aquecidos em temperaturas selecionadas. É considerada uma mistura asfáltica resistente em todos os seus aspectos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A distribuição das camadas de um pavimento flexível, será ilustrado na Figura 2, logo abaixo.

Figura 2 - Seção Transversal Típica – Pavimento Flexível



Fonte: Senço (2007).

2.2 Asfalto-Borracha

O asfalto-borracha é desenvolvido a partir da incorporação da Borracha Moída de Pneu (BMP), juntamente ao ligante asfáltico, nesse caso, o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP). Essa mistura da borracha ao asfalto apresenta diversos benefícios técnicos, sendo ainda mais atrativa, por proporcionar a reutilização desses pneus inservíveis, evitando que eles se transformem em fontes de poluição (ECHEVERIA *et al.*, 2017).

Esse ligante associado ao asfalto-borracha pode ser utilizado em atividades que vão desde manutenção, restauração, até pavimentos novos, com a possibilidade de aumentar sua vida útil. Entre as várias aplicações possíveis, pode-se citar a selagem de trincas, remendos, tratamentos superficiais (SAM) e o revestimento de concreto asfáltico. De maneira geral, proporciona resultados vantajosos nos aspectos estruturais e financeiros (ODA, 2001).

2.2.1 Histórico

Historicamente, existem diversas tentativas de se produzir ligante asfáltico com a adição de borracha natural e sintética. Em 1963, Charles H. MacDonald, considerado o pai do asfalto-borracha, desenvolveu pesquisas que culminaram com a criação de um material “altamente elástico” para a pavimentação, composto por ligante asfáltico associado a 25% de borracha moída de pneu, misturados a uma temperatura de 190° C durante vinte minutos. Esse tipo de pavimento é considerado, em média, 40% mais resistente que o convencional (ODA, 2001).

No Brasil, os primeiros estudos e pesquisas com foco na utilização da borracha para melhorar as características do asfalto surgiram a partir da década de 1990. Diversas pesquisas reportaram efeitos benéficos da incorporação da borracha no ligante asfáltico, tais como a redução do envelhecimento do pavimento, redução da susceptibilidade aos efeitos térmicos, aumento da flexibilidade, aumento do ponto de amolecimento, melhoria na aderência do pneu ao pavimento, redução do ruído do tráfego, entre outras (ODA, 2001).

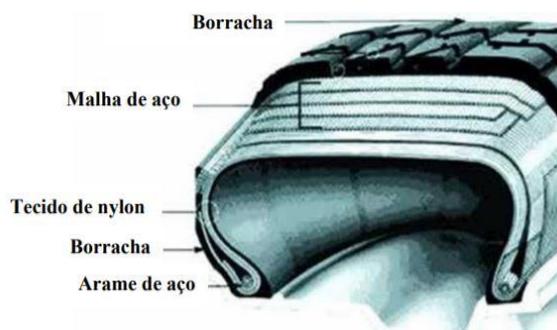
Segundo Greca Asfaltos (2009), a utilização do asfalto modificado por borracha no Brasil só ocorreu em 2001, o que demonstra o quanto é incipiente o emprego dessa tecnologia. Todavia, a utilização desse tipo de pavimento já havia sido aprovada no ano de 1999, pela Resolução n.º 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

2.2.2 Borracha de pneus

Os pneus são os responsáveis diretos pelo contato entre os veículos e o pavimento de circulação; entre as diversas funções que apresentam, pode-se destacar: suporte do peso do

veículo, resistência a sobrecargas, amortecimento contra os impactos de irregularidades do pavimento e adaptação a diferentes condições climáticas. Além disso, o pneu é essencial à segurança dos usuários, proporcionando estabilidade e melhor desempenho dos veículos (ANDRIETTA, 2002). A Figura 3, mostra os componentes do pneu, a partir de um corte radial.

Figura 3 - Corte radial de pneu de automóvel



Fonte: Andrietta (2002).

Os pneus apresentam diferentes componentes básicos, na Tabela 1, além da possibilidade de incorporação de diversos aditivos, objetivando a melhoria de suas características (ANDRIETTA, 2002).

Tabela 1 - Composição de pneus de veículos de passeio e caminhões

Material	Quantidade (%)	
	Carro	Caminhão
Borracha	48,00	45,00
Negro de fumo	22,00	22,00
Aço	15,00	25,00
Tecido de nylon	5,00	-
Oxido de zinco	1,00	2,00
Enxofre	1,00	1,00
Aditivos	8,00	5,00

Fonte: Adaptada de Andrietta (2002).

O processo de separação dos diversos componentes dos pneus ocorre por uma série de etapas, descritas resumidamente a seguir:

- Inicialmente, o pneu é repartido em vários pedaços;

- Realiza-se um tratamento com solvente, localizado em um recipiente específico, com o intuito de dilatar a borracha, tornando-a mais frágil;
- Há a separação da malha de aço e o tecido de nylon, empregando-se ímãs;
- Posteriormente, a borracha é triturada e conduzida para o conjunto de peneiras para segregação;
- Por fim, a borracha será submetida ao processo de desvulcanização, resgatando, aproximadamente, 75% das características iniciais (ANDRIETTA, 2002 *apud* MARTINS, 2004).

2.2.3 Adição da borracha de pneus às misturas asfálticas

A incorporação da borracha de pneus às misturas asfálticas objetiva a melhoria de suas qualidades, sobretudo no que se refere à segurança e ao conforto dos usuários das rodovias e das vias urbanas. Os procedimentos para a incorporação de borracha de pneus às misturas asfálticas podem ocorrer das seguintes maneiras:

- **Via seca:** a borracha moída é introduzida diretamente à mistura do asfalto, isto é, realiza-se a mistura simultânea de agregados, borracha e ligante. Todavia, esse procedimento pode prejudicar a passagem de alguns atributos importantes da borracha para o ligante. Ainda assim, a obtenção de uma mistura uniforme ao final pode sinalizar a produção bem-sucedida de uma mistura asfáltica de qualidade (WICKBOLDT, 2005).
- **Via úmida:** primeiramente, mistura-se o ligante e a borracha, o que proporciona uma mudança permanente ao ligante. Nesse processo, características como elasticidade e resistência ao envelhecimento são transferidos ao ligante de maneira positiva, sendo esse o mais indicado de se utilizar (WICKBOLDT, 2005).

2.3 Influência Ambiental

2.3.1 Problema dos pneus inservíveis

A borracha sintética foi descoberta e apresentada por Charles Goodyear, em 1839, por meio do processo de vulcanização, que consiste no aquecimento da borracha juntamente com o enxofre, gerando produtos mais resistentes e elásticos, isto é, com melhores características que a borracha bruta. A principal aplicação dessa borracha vulcanizada foi como pneu de veículos rodoviários (ODA, 2001).

Com a descoberta, a demanda pela borracha cresceu rapidamente, sobretudo no que se refere à fabricação de pneus. No Brasil, segundo a Associação Nacional de Industrias de Pneumáticos (ANIP), são produzidos cerca de 61 milhões de pneus por ano. Diante desse cenário, várias consequências negativas surgiram com o uso crescente de pneus, tais como o descarte em locais inadequados, com aumento da proliferação de mosquitos e, conseqüentemente, das doenças por eles transmitidas (GEIPOT *apud* ODA, 2001).

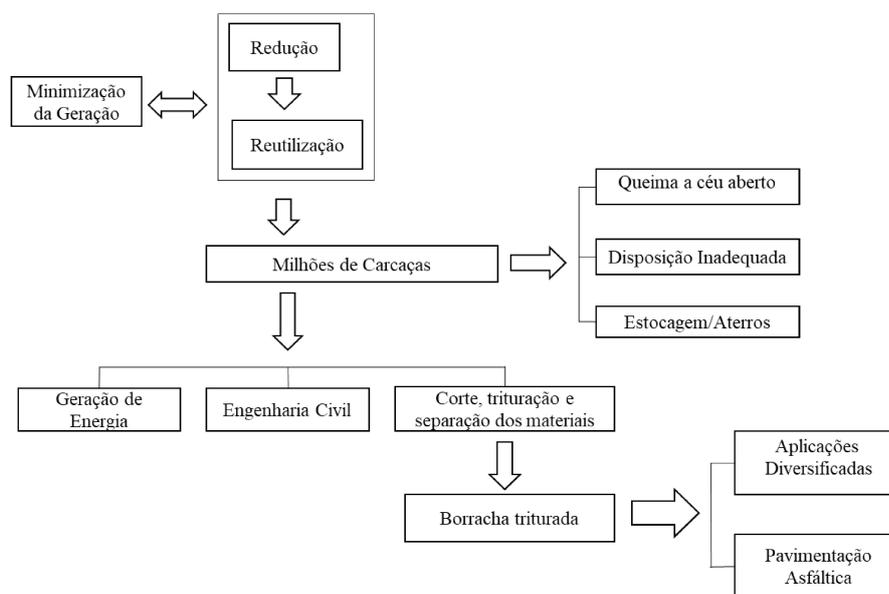
O CONAMA, por meio da Resolução n.º 258 de 26 de agosto de 1999, determinou a obrigatoriedade da destinação ambientalmente adequada aos pneus inservíveis, sendo esses caracterizados pela presença de danos irreparáveis em sua estrutura. Entretanto, apesar da vigência da Resolução, ainda é possível encontrar vários pontos de acúmulo de pneus, sobretudo nos quintais domésticos. Nesse sentido, a conscientização da população consiste em uma das estratégias mais eficientes.

2.3.2 Reciclagem dos pneus

Em função da elevada produção e utilização de pneus, o descarte desses materiais é um grande desafio para as empresas e órgãos públicos, uma vez que sua durabilidade na natureza é um dos principais fatores ligado à poluição. A durabilidade de um pneu pode chegar a 600 anos, situação agravada pela presença de substâncias tóxicas que, uma vez liberadas no meio ambiente, podem contaminar os solos e o lençol freático (SILVA *et al.*, 2014).

A reciclagem do pneu consiste em coleta, transporte, trituração e separação de seus componentes, transformando-o em matéria-prima para a obtenção de diversos produtos (BERTOLLO, 2002). A seguir, a Figura 4 apresenta as principais formas de reutilização dos pneus inservíveis.

Figura 4 - Destino final dos pneus inservíveis



Fonte: Adaptado de Bertollo (2002).

Uma das principais aplicações do pneu reciclado consiste na sua incorporação ao pavimento asfáltico, utilizando, para tanto, a borracha moída, que garante benefícios às características do asfalto, melhor desempenho e vida útil maior (BERTOLLO, 2002).

2.4 Características do Asfalto-Borracha

2.4.1 Durabilidade e manutenção

Conforme Mendes e Nunes (2009), o pavimento revestido com asfalto-borracha comporta uma durabilidade duas vezes mais eficiente, quando comparado com o asfalto convencional. Alguns problemas, como trincas, fissuras, rachaduras e afins, podem ser evitados com a aplicação do ligante desenvolvido na pesquisa de Mendes e Nunes, que proporciona menor manutenção com o asfalto-borracha.

Na pavimentação, custo e manutenção estão ligados e caminham juntos, por isso essa busca por um produto inovador, como é o caso do ligante asfáltico com adição de borracha moída de pneus, que gera melhores características ao asfalto, como maior vida útil, mais resistência e, conseqüentemente, com menor manutenção (SPECH, 2004).

De acordo com Greca Asfaltos (2009), o ligante borracha é mais maleável e pode ser aplicado em rodovias que possuem intenso tráfego de veículos com cargas pesadas e obtém-se como resultados menos rachaduras e menos problemas com durabilidade, que se torna vantajoso para o Brasil.

2.4.2 Custo x benefício do asfalto-borracha

Em função aos gastos relacionados com pavimentação asfáltica, há uma constante busca por novas alternativas disponíveis que proporcionem melhores resultados com custos mais acessíveis. Pensando nisso, começou-se a utilizar o asfalto-borracha, que apresenta propriedades superiores ao tradicional.

De acordo com uma pesquisa divulgada por Greca Asfaltos (2009), foi feito um comparativo entre a utilização do asfalto-borracha aplicado em um trecho de 30 km, com a espessura de revestimento igual a 3,5 cm que possui as mesmas características de um outro trecho com espessura de 5 cm, revestido de asfalto convencional.

Diante do exposto na pesquisa, apresenta-se, a seguir na Tabela 2, um comparativo entre os custos na pavimentação e, por meio dela, pode-se constatar que o consumo por tonelada de asfalto convencional é maior que o asfalto-borracha; já o custo de usinagem/ aplicação e o custo de asfalto no Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) do asfalto-borracha é superior ao convencional. Além disso, percebe-se que, no que concerne à quantidade de massas, o asfalto-borracha consome menos, e isso resulta em um pavimento mais econômico e viável que o convencional.

Tabela 2 - Comparativo de custo entre asfalto borracha e asfalto convencional

Grandezas	Calculo	Unidades	Tipo de Asfalto		Diferença (%)
			CAP 50/70	Asfalto Modificado por Borracha (AMB)	
A Quantidade de massa asfáltica no CBUQ produzido	-	Ton.	26.250,00	18.375,00	-30,00
B Custo de usinagem/aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/Ton.	200,00	230,00	15,00
C Quantidade de massa x custo de usinagem/aplicação	AxB	R\$	R\$ 5.250.000	R\$ 4.226.250	-19,50
D Teor de Asfalto	-	%Peso	5,00	5,50	10,00
E Custo de asfalto por Tonelada	-	R\$/Ton.	1.150,00	1.550,00	34,80
F Custo de asfalto no CBUQ	AxDxE	R\$	R\$ 1.509.375,00	R\$ 1.566.468,75	3,8
G Custo total da obra	C + F	R\$	R\$ 6.759.375,00	R\$ 5.792.718,75	-14,3

Fonte: Adaptado de Greca Asfaltos (2009).

2.5 Lugares que utilizaram asfalto-borracha

A seguir são mostradas algumas obras em que foi utilizado o asfalto-borracha no Brasil.

Avenida Beira Mar Norte em Florianópolis/SC: A Figura 5 (A) mostra a avenida que foi recapeada em um trecho de, aproximadamente, cinco quilômetros por meio da aplicação de asfalto-borracha. A utilização desse tipo de asfalto proporcionou a esse trecho um aumento na vida útil do pavimento, além de diminuir os ruídos ocasionados pelo tráfego (GRECA ASFALTO, 2019).

Usina Hidrelétrica de Itaipu: Foram pavimentados 21 km de vias internas da usina utilizando o asfalto-borracha, como mostra a Figura 5 (B), retirando aproximadamente, 21.000 pneus inservíveis de circulação (GRECA ASFALTO, 2019).

Figura 5 - Avenida Beira Mar Norte em Florianópolis/SC (A)/ Usina Hidrelétrica de Itaipu (B)



Fonte: Greca Asfaltos (2019).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O presente trabalho desenvolveu um estudo comparativo entre os dois métodos de pavimentação asfáltica: o asfalto convencional com a utilização de CBUQ com CAP 50/70 em seu revestimento e o asfalto-borracha com CBUQ modificado por borracha, ambos aplicados nas seguintes vias urbanas indicadas: Rua Santa Ana, Rua São Gregório, Rua São José, Rua São Joaquim, Rua Santa Maria - trecho 01, Rua Santa Maria - trecho 02, Rua Santa Maria - trecho 03, Rua A e Rua B, pertencentes ao Bairro Campestre, em Monte Carmelo. A área total estudada foi de 10.887, 63 m² e a localização das referidas ruas pode ser observada na Figura 6.

- Materiais para sub-base: $CBR \geq 20\%$;
- Materiais para base: $CBR \geq 80\%$.

O próximo passo é encontrar o valor da espessura mínima de revestimento betuminoso, que melhor se adequa ao pavimento, de acordo com a Tabela 3. A espessura da faixa de revestimento asfáltico é definida em função do número de solicitações (N) conforme o tráfego de projeto, o dimensionamento é realizado para o número de solicitações equivalentes do eixo padrão de 8,2 tf, durante a vida útil do pavimento.

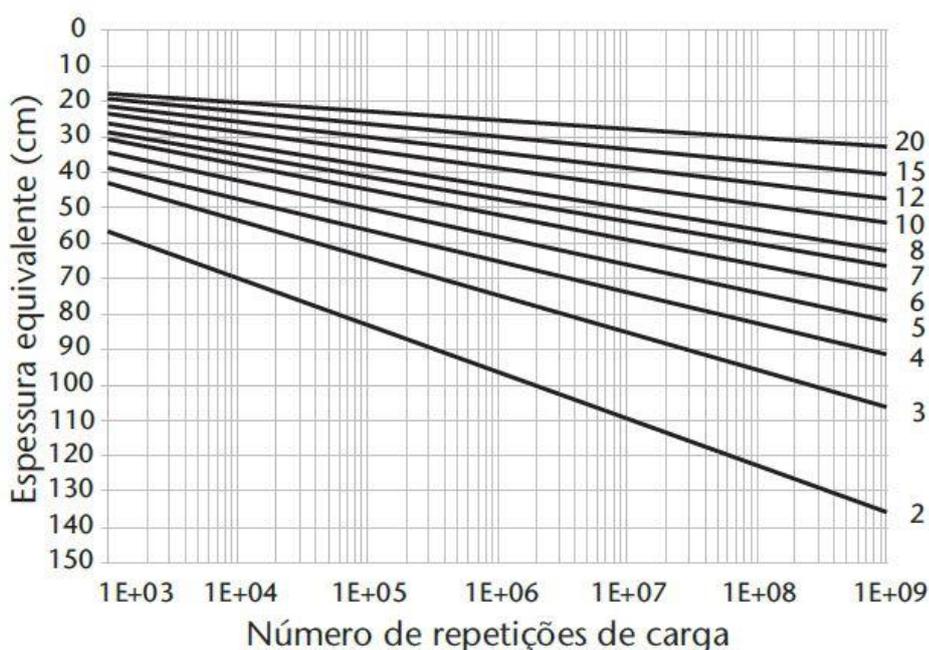
Tabela 3 - Espessuras Mínimas de Revestimentos Asfálticos

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Adaptado de Souza (1981 *apud* Balbo, 2007).

Com os valores do CBR da camada subjacente e com o número de solicitações (N) devido ao tráfego, realiza-se o dimensionamento no ábaco, conforme a Figura 7.

Figura 7 - Ábaco para o dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER



Fonte: Souza (1981 *apud* Balbo, 2007).

Com os respectivos valores encontrados, as espessuras restantes podem ser calculadas conforme as seguintes inequações: (BALBO, 2007).

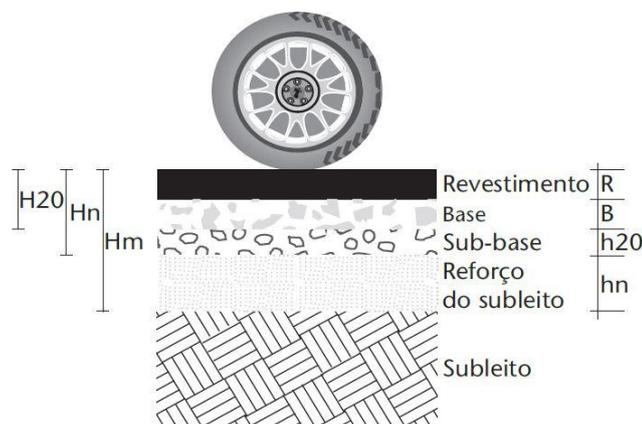
$$R K_r + B K_b \geq H_{20} \quad (1)$$

$$R K_r + B K_b + h_{20} K_s \geq H_n \quad (2)$$

$$R K_r + B K_b + h_{20} K_s + h_n K_n \geq H_m \quad (3)$$

Nessas inequações (1), (2), (3), K_r , K_b , K_s e K_n são os coeficientes de equivalência estrutural dos materiais de reforço do subleito, sub-base, base, revestimento, respectivamente. Já R , B , h_{20} e h_n são os valores das espessuras das camadas, correspondem respectivamente ao revestimento, base, sub-base, reforço do subleito. Na Figura 8, mostra-se como é a estrutura das camadas.

Figura 8 - Princípio da solução das espessuras das camadas com base no valor do CBR



Fonte: Balbo (2007).

O valor do coeficiente estrutural K é encontrado de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Coeficientes de Equivalência estrutural (K)

Componentes do Pavimento	Coefficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas Granulares	1,00
Solo Cimento com resistência a compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm ²	1,70
Idem, com resistência a compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm ² e 28 kg/cm ²	1,40
Idem, com resistência a compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm ² e 21 kg/cm ²	1,20

Fonte: Adaptado de Senço (2007).

3.4 Composição da mistura asfáltica

Em projetos de revestimentos asfálticos, é fundamental a determinação do teor adequado de asfalto que está relacionado ao volume de vazios, à estabilidade, à massa específica aparente, para proporcionar ao pavimento durabilidade, estabilidade para suportar o tráfego com o mínimo de deformação. Para garantir uma dosagem apropriada de matérias, é utilizado o Método Marshall (BERNUCCI *et al.*, 2010).

O ensaio Marshall é realizado primeiramente, determinando-se as medidas de volume e peso dos corpos de prova; em seguida, são inseridos em banho maria por cerca de 20 a 30 minutos. Depois, são posicionados na prensa Marshall, submetidos a aplicação de cargas, uma compressão diametral até o rompimento. Com os resultados do ensaio, é possível traçar gráficos que determinem o teor de asfalto em relação à variação de estabilidade, à variação de vazios, à de densidade e à de deformação (SENÇO, 2001).

A Construtora Sodeste, uma usina de asfalto, localizada em Uberlândia, MG, disponibilizou as especificações utilizadas para o Traço CBUQ – Faixa C, para o asfalto convencional, mostradas na Tabela 5.

Tabela 5 - Especificações para o asfalto convencional

ESPECIFICAÇÃO			
		MINIMO	MAXIMO
Valores encontrados para o Teor Ótimo de Asfalto	4,80%	4,50%	5,10%
Massa Específica do Asfalto - CAP 30/45	1,009 g/cm ³	-	-
Diâmetro Máximo do Agregado Combinado	19,1 mm	-	-
Massa Específica Aparente da Mistura Compactada	2,473 g/cm ³	-	-
Massa Específica Teórica da Mistura	2,563 g/cm ³	-	-
Teor de Vazios (Vv %)	3,50%	3,00%	5,00%
Vazios Cheios de Betume (VCB %)	11,60%	-	-
Vazios do Agregado Mineral (VAM %)	15,10%	>15	-
Relação Betume/Vazios (RBV %)	76,90%	75%	82%
Estabilidade Marshall	1060 Kg	>500	
Fluência	3,4 mm	2	4,5
Comprimento Diametral (Mpa)	0,66	0,65	-
Adesividade Satisfatório	0,00%	-	-

Fonte: Construtora Sodeste (2015).

Ainda segundo a Construtora Sodeste, os dados utilizados para o Traço Faixa C - CAP com borracha, para asfalto-borracha, é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Especificações para o asfalto-borracha

ESPECIFICAÇÃO			
		MINIMO	MAXIMO
Valores encontrados para o Teor Ótimo de Asfalto	4,70%	4,40%	5,00%
Massa Específica do Asfalto - CAP 30/45	1,012 g/cm ³	-	-
Diâmetro Máximo do Agregado Combinado	19,1 mm	-	-
Massa Específica Real da Mistura	2,773 g/cm ³	-	-
Massa Específica Aparente da Mistura Compactada	2,464 g/cm ³	-	-
Massa Específica Teórica da Mistura	2,561 g/cm ³	-	-
Teor de Vazios (V _v %)	3,80%	3,00%	5,00%
Vazios Cheios de Betume (VCB %)	11,40%	-	-
Vazios do Agregado Mineral (VAM %)	15,10%	>15	-
Relação Betume/Vazios (RBV %)	75,00%	75%	82%
Estabilidade Marshall	965 Kg	>500	-
Fluência	3,9 mm	2,00	4,50
Resistencia à Tração	7,12 Kg/cm ²	7,00	12,00

Fonte: Construtora Sodeste (2015).

Com essas especificações definidas, é possível obter as composições das misturas, que são as proporções corretas a serem utilizadas em uma determinada mistura asfáltica. De acordo com a Construtora Sodeste, a produção do asfalto convencional utiliza pó de brita, brita 0, brita 1, juntamente com o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo). Já a produção do asfalto-borracha é constituída de pó de brita, brita 0, brita 1, calcário e CAP FLEXPAVE (Asfalto Modificado por Polímero), usado como base para aplicação de massas asfálticas executadas com asfaltos modificados, nesse caso modificado pela adição da borracha moída de pneu.

Segundo a Norma NBR 7211 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as britas são classificadas de acordo com o tamanho dos grãos, ou seja, granulometria, assim temos:

- Pó de brita: tipo mais fino de brita existente, sua dimensão é de até 4,8 mm;
- Brita 0 ou pedrisco: de 4,8 mm a 9,5 mm;
- Brita 1: de 9,5 mm a 19 mm;
- Brita 2: de 19 mm a 25 mm;
- Brita 3: de 25 mm a 50 mm;
- Brita 4: de 50 mm a 76 mm;
- Brita 5: de 76 mm a 100 mm.

Segundo a Construtora Sodeste, para a composição da mistura asfáltica convencional, é utilizado as seguintes proporções como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 - Composição da Mistura Convencional

COMPOSIÇÃO DA MISTURA		SECA	4,8
Procedência dos Materiais	Materiais	(%)	(%)
PEDREIRA ECOBRIX	Brita 1	14,00	13,33
PEDREIRA ECOBRIX	Brita 0	34,00	32,37
PEDREIRA ECOBRIX	Pó de Pedra	52,00	49,50
Greca Asfaltos	CAP 30/45		4,80
	TOTAL	100,00	100,00

Fonte: Construtora Sodeste (2015).

Para a mistura asfáltica com borracha, as quantidades adequadas conforme a Construtora Sodeste, são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Composição da Mistura com Borracha

COMPOSIÇÃO DA MISTURA		SECA	4,7
Procedência dos Materiais	Materiais	(%)	(%)
PEDREIRA ECOBRIX	Brita 1	20,00	10,06
PEDREIRA ECOBRIX	Brita 0	36,00	34,31
PEDREIRA ECOBRIX	Pó de Pedra	40,00	38,12
ERCAL TRIÂNGULO	Calcário	4,00	3,81
Greca Asfaltos	Flexpave 55/75		4,70
	TOTAL	100,00	100,00

Fonte: Construtora Sodeste (2015).

3.5 Condições Específicas

3.5.1 Quantidade de borracha no asfalto-borracha

A adição de borracha em pavimentos asfálticos se destaca pelo consumo de um a quatro pneus de automóveis tradicionais a cada tonelada de mistura. Para pavimentar, aproximadamente, 7800 km de rodovias ou de vias urbanas, seriam utilizados, em média, onze milhões de pneus inservíveis, proporcionando o reaproveitamento/reutilização em torno de 25% de pneus eliminados por ano (BERTOLLO, 2002).

O asfalto modificado por borracha de pneus moídas é constituído de pó de borracha, em torno de 15% a 20%, adicionado ao ligante asfáltico, por meio de via úmida. Para a obtenção

do asfalto-borracha, é mais adequado utilizar o processo de via úmida, por meio de dois métodos: as tecnologias *terminal blend* e *continuous blend* (PINTO *et al.*, 2015).

Se for adotada a tecnologia *terminal blend*, a produção do asfalto é realizada com a incorporação da borracha reciclada de pneus em pó, juntamente com os outros agregados na empresa central e somente depois são transportados até o lugar de execução do asfalto. Esse método é composto por, aproximadamente, de 5% até 12% de borracha de pneus triturados. De acordo com a Greca Asfaltos, para estocar o asfalto-borracha pela tecnologia *terminal blend*, é necessário:

- Até cinco dias de estocagem, preservar a mistura em temperatura por volta de 165°C, mexendo continuamente durante duas horas, seguido de interrupção de 12 horas sem movimento;
- Entre cinco e dez dias de estocagem, manter a mistura em temperatura em torno de 100°C a 120°C;
- Acima de dez dias de estocagem, conservar em temperatura ambiente. (PINTO *et al.*, 2015)

Já se for escolhida a tecnologia *continuous blend*, o asfalto será produzido diretamente no local de aplicação, com equipamentos específicos, contendo, em média, até 22% de borracha moída. A utilização da mistura asfáltica deveria acontecer em menos de 24 horas, mas depois de 1990, devido às dimensões mais finas da borracha de pneu, foi possível armazenar o asfalto-borracha em torno de seis dias, mas é necessário mexer constantemente o produto (PINTO *et al.*, 2015).

3.5.2 Características para o asfalto-borracha

A Tabela 9 apresenta algumas temperaturas a serem seguidas pelos revestimentos asfálticos conforme Morilha (2004 *apud* PINTO *et al.*, 2015).

Tabela 9 - Temperaturas de usinagem e Compactação

TEMPERATURAS, °C	MÍNIMA	MÁXIMA
Do ligante, pré usinagem	165	177
Do agregado, pré usinagem	170	177
Massa pós usinagem	165	175
Compactação, mínima	155	-

Fonte: Adaptada de PINTO *et al.* (2015).

3.6 Custos e orçamentos da pavimentação

Com o dimensionamento concluído, pode-se começar a parte de orçamento, que se refere a uma previsão financeira, que apresenta os custos de cada tarefa a ser realizada para alcançar o objetivo final. Para auxiliar na elaboração de orçamentos, existem ferramentas que podem ser utilizadas, no caso deste trabalho empregaram-se a Tabela SETOP – Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais, da Região Triângulo e Alto Paranaíba, e a Tabela SINAPI – Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil.

Essas tabelas disponibilizam os preços unitários de materiais, mão de obra e encargos, a serem seguidos para o cálculo do custo de cada serviço. Na tabela SINAPI, os preços informados são coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os valores medianos são fornecidos à Caixa Econômica Federal (CEF).

A planilha orçamentaria utilizada nesse estudo é composta pelos seguintes itens:

- **Código:** de acordo com a tabela SETOP e SINAPI;
- **Descrição:** materiais e mão de obra que serão utilizados;
- **Preço unitário:** quanto custa para efetuar cada unidade do material;
- **Unidades:** unidade de medida empregada (ton., km, m², m³);
- **Quantidade de serviços:** representa a quantidade de serviços (mão de obra + insumos) contratada para a realização da obra. Para se aprofundar no critério de quantidade de materiais utilizados é por meio da composição dos itens, que pode ser encontrado no site da Caixa Econômica Federal, na parte de composição de custos unitários;
- **Preço total:** quantidade de serviço x preço unitário.

O BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) são as taxas indiretas que devem ser levadas em consideração ao longo da execução da obra. O preço unitário pode ser calculado com BDI, a partir da Equação 4.

$$BDI = \left[\left(\frac{(1+i)(1+r)(1+f)}{1-(t+s+c+1)} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

- i = taxa de administração central;
- r = taxa de risco do empreendimento;
- f = taxa de custo financeiro do capital de giro;
- t = taxa de tributos federais;

- s = taxa de tributo municipal – ISS;
- c = taxa de despesas de comercialização;
- l = lucro ou remuneração líquida da empresa.

Por se tratar de um comparativo, além do custo, serão levadas em consideração a manutenção, a sustentabilidade e a durabilidade do pavimento. A manutenção tem como função manter as propriedades técnicas e operacionais do pavimento, realizando as manutenções frequentemente é possível preservar o revestimento em boas condições de uso e segurança para os usuários durante sua vida útil (PEDROZO, 2001).

A sustentabilidade está relacionada a reaproveitar, reutilizar os pneus inservíveis na fabricação do revestimento asfáltico, diminuindo a quantidade desses pneus que, descartados inadequadamente, podem provocar poluição e afetar o meio ambiente. Ainda nos pavimentos asfálticos, propriedades como durabilidade podem depender do material utilizado/escolhido, da espessura da camada, condições climáticas, método de execução da obra e até mesmo do modo de manutenção (PEDROZO, 2001).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

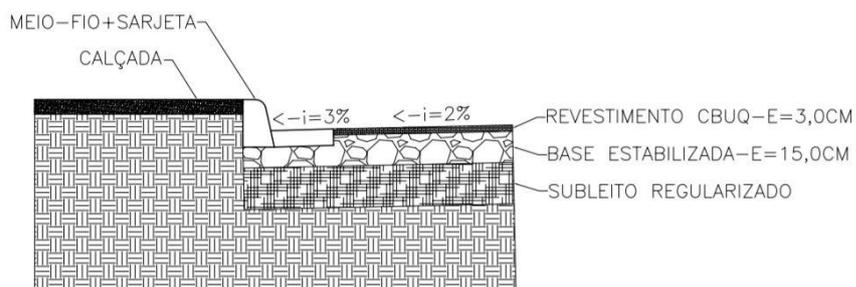
4.1 Métodos e Materiais

Nas camadas do pavimento, foi executada a regularização do subleito até assumir a forma da seção transversal tipo do leito carroçável. Após, ocorreu a preparação da base, em que foi utilizada base de cascalho de cava com espessura de 15 cm. Em seguida realizou-se a imprimação impermeabilizante, empregando asfalto diluído tipo CM-30, a taxa de aplicação será aquela que pode ser absorvida pela base em 24 horas, variando entre 0,80 a 1,60 L/m².

Para o revestimento, foi utilizado o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), com espessura de massa asfáltica igual a 3 cm; já as calçadas foram realizadas em 12 MPA, traço 1:3:5, cimento, areia e brita executado com junta de dilatação em madeira com espessura de 6 cm. O meio fio e sarjeta foram moldados *in loco* por meio de processo mecânico, utilizando extrusora. A Figura 9 apresenta as camadas utilizadas no projeto.

Para a pavimentação com asfalto-borracha, foram executados os mesmos processos citados anteriormente, exceto na parte de revestimento, em que foi utilizado o concreto betuminoso usinado a quente, modificado por borracha, com a mesma espessura de 3 cm.

Figura 9 - Detalhe Construtivo: camadas



Fonte: Prefeitura Municipal de Monte Carmelo (2018).

Em relação às planilhas orçamentárias, os resultados finais foram calculados em função dos custos dos pavimentos, a diferença entre eles são que um é de asfalto comum e outro de asfalto modificado por borracha, conseqüentemente, apresentou-se um custo diferenciado para cada revestimento. Para comparação de gastos, foram consultadas as tabelas SINAPI e SETOP, atualizadas no ano de 2019.

A Tabela 10 apresenta a planilha orçamentária para pavimentação de vias urbanas em Monte Carmelo, utilizando asfalto convencional e a Tabela 11 apresenta a planilha orçamentária para o asfalto modificado por borracha. Essas planilhas foram adaptadas de um modelo disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Monte Carmelo.

Tabela 10 - Planilha Orçamentaria com Asfalto Convencional

Prefeitura: Prefeitura Municipal de Monte Carmelo							
Obra: Pavimentação de Vias Urbanas em Monte Carmelo - MG					Data: Julho/2019		
Local: Monte Carmelo					Forma de execução: Desonerado		
Região/Mês de Referência: SINAPI MG JULHO 2019					BDI: 0,2465		
ITEM	CODIGO	DESCRIÇÃO	PREÇO UNITÁRIO SEM BDI	PREÇO UNITÁRIO COM BDI	UNIDADE	QUANTIDADE DE SERVIÇOS LICITADOS	VALORES TOTAIS
1	Serviços Preliminares						
1.1	74209/1	Placa de obra em chapa de aço galvanizado	R\$ 301,27	R\$ 375,53	m²	4,50	R\$ 1.689,88
1.2	73847/1	Aluguel de container/escrit incl inst elet larg= 2,20 comp=6,20 chapa de aço c/ nerv trapez forro c/ isol termo/acustico chassis reforc piso compens naval exc transp/carga/descarga	R\$ 339,84	R\$ 423,61	mês	3,00	R\$ 1.270,83
1.3	74221/1	Sinalização de Trânsito Noturna	R\$ 2,22	R\$ 2,77	m	1.422,18	R\$ 3.939,44
Totais serviços preliminares:							R\$ 6.900,15
2	Administração Local da Obra - Direta						
2.1	2706	Engenheiro de obra	R\$ 72,51	R\$ 90,38	h	120,00	R\$ 10.845,60
2.2	4069	Mestre de obras	R\$ 42,52	R\$ 53,00	h	480,00	R\$ 25.440,00
2.3	88326	Vigia Noturno	R\$ 17,33	R\$ 21,60	h	1.440,00	R\$ 31.104,00
Total serviço de administração:							R\$ 67.389,60
3	Serviço Técnico						
3.1	78472	Serviços topograficos para pavimentação inclusive nota de serviços, acompanhamento e greide	R\$ 0,39	R\$ 0,49	m²	11.740,93	R\$ 5.753,05
Total serviço técnico:							R\$ 5.753,05
4	Movimento de Terra						
4.1	74151/1	Escavação e carga material 1A, utilizando trator de esteiras de 110 a 160HP com lamina, peso operacional 13T e PA carregadeira com 170HP	R\$ 2,99	R\$ 3,73	m³	5.062,78	R\$ 18.884,17
4.2	93589	Transporte com caminhão basculante de 10m³, em via urbana em revestimento primario	R\$ 1,17	R\$ 1,46	m³xkm	25.313,92	R\$ 36.958,32
4.3	83344	Espalhamento de material em bota fora	R\$ 0,85	R\$ 1,06	m³	5.062,78	R\$ 5.366,55
4.4	72961	Regularização e compactação de sub leito ate 20cm de espessura (area de intervenção)	R\$ 1,23	R\$ 1,53	m²	11.428,45	R\$ 17.485,53
4.5	72838	Transporte comercial com caminhão carroceria 9T, rodovia em leito natural (cascalho)	R\$ 0,88	R\$ 1,10	txkm	20.571,20	R\$ 22.628,32
4.6	COTAÇÃO	Cascalho para pavimentação	R\$ 70,00	R\$ 87,25	m³	1.714,27	R\$ 149.570,06
4.7	72924	Base de Solo, mistura em usina, compactação 100% proctor modificado, exclusive escavação, carga e transporte	R\$ 60,46	R\$ 75,36	m³	1.714,27	R\$ 129.187,39
Total movimento de terra:							R\$ 380.080,34
5	Imprimação/Pintura						
5.1	96401	Execução de imprimação com asfalto diluido CM-30	R\$ 6,69	R\$ 8,34	m²	11.428,45	R\$ 95.313,27
5.2	72942	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	R\$ 1,65	R\$ 2,06	m²	10.929,38	R\$ 22.514,52
Total imprimação/pintura:							R\$ 117.827,79
6	Pavimentação						
6.1	72962	Usinagem e aplicação de CBUQ com CAP 50/70, para capa de rolamento	R\$ 285,94	R\$ 356,42	t	786,92	R\$ 280.474,03
6.2	93590	Transporte com caminhão basculante de 10m³, em via urbana pavimentada	R\$ 0,78	R\$ 0,97	m³xkm	26.984,64	R\$ 26.175,10
Total pavimentação:							R\$ 306.649,13
7	Obras Complementares de Pavimentação						
7.1	94281	Execução de meio fio e sarjeta de concreto, moldada in loco com extrusora, 30 cm base x 15 cm altura	R\$ 32,15	R\$ 40,07	m	1.667,32	R\$ 66.809,51
7.2	94993	Execução de passeio (calçada) com concreto moldado in loco, usinado, acabamento convencional, espessura 6 cm, armado	R\$ 50,16	R\$ 62,52	m²	5.236,10	R\$ 327.360,97
Total complementares de pavimentação:							R\$ 394.170,48
8	Sinalização						
8.1	72947	Sinalização horizontal com tinta retrorrefletiva a base de resina acrilica com microesferas de vidro	R\$ 14,42	R\$ 17,97	m²	461,71	R\$ 8.296,93
8.2	73916/2	Placa esmaltada para identificação Nr de rua, dimensões 45x25cm	R\$ 83,46	R\$ 104,03	unidade	15,00	R\$ 1.560,45
Total sinalização:							R\$ 9.857,38
Total geral da obra:							R\$ 1.288.627,92

Fonte: Adaptada de Prefeitura Municipal de Monte Carmelo (2019).

Tabela 11 - Planilha Orçamentaria com Asfalto Modificado por Borracha

Prefeitura: Prefeitura Municipal de Monte Carmelo							
Obra: Pavimentação de Vias Urbanas em Monte Carmelo - MG				Data: Julho/2019			
Local: Monte Carmelo				Forma de execução: Desonerado			
Região/Mês de Referência: SINAPI, SETOP MG JULHO 2019				BDI: 0,2465			
ITEM	CODIGO	DESCRIÇÃO	PREÇO UNITÁRIO SEM BDI	PREÇO UNITÁRIO COM BDI	UNIDADE	QUANTIDADE DE SERVIÇOS LICITADOS	VALORES TOTAIS
1 Serviços Preliminares							
1.1	74209/1	Placa de obra em chapa de aço galvanizado	RS 301,27	RS 375,53	m²	4,50	RS 1.689,88
1.2	73847/1	Aluguel de container/escrit incl inst elet larg= 2,20 comp=6,20 chapa de aço c/ nerv trapez forro c/ isol termo/acustico chassis reforc piso compens naval exc transp/carga/descarga	RS 339,84	RS 423,61	mês	3,00	RS 1.270,83
1.3	74221/1	Sinalização de Trânsito Noturna	RS 2,22	RS 2,77	m	1.422,18	RS 3.939,44
Totais serviços preliminares:							RS 6.900,15
2 Administração Local da Obra - Direta							
2.1	2706	Engenheiro de obra	RS 72,51	RS 90,38	h	120,00	RS 10.845,60
2.2	4069	Mestre de obras	RS 42,52	RS 53,00	h	480,00	RS 25.440,00
2.3	88326	Vigia Noturno	RS 17,33	RS 21,60	h	1.440,00	RS 31.104,00
Total serviço de administração:							RS 67.389,60
3 Serviço Técnico							
3.1	78472	Serviços topograficos para pavimentação inclusive nota de serviços, acompanhamento e greide	RS 0,39	RS 0,49	m²	11.740,93	RS 5.753,05
Total serviço técnico:							RS 5.753,05
4 Movimento de Terra							
4.1	74151/1	Escavação e carga material 1A, utilizando trator de esteiras de 110 a 160HP com lamina, peso operacional 13T e PA carregadeira com 170HP	RS 2,99	RS 3,73	m³	5.062,78	RS 18.884,17
4.2	93589	Transporte com caminhão basculante de 10m³, em via urbana em revestimento primario	RS 1,17	RS 1,46	m³xkm	25.313,92	RS 36.958,32
4.3	83344	Espalhamento de material em bota fora	RS 0,85	RS 1,06	m³	5.062,78	RS 5.366,55
4.4	72961	Regularização e compactação de sub leito ate 20cm de espessura (area de intervenção)	RS 1,23	RS 1,53	m²	11.428,45	RS 17.485,53
4.5	72838	Transporte comercial com caminhão carroceria 9T, rodovia em leito natural (cascalho)	RS 0,88	RS 1,10	txkm	20.571,20	RS 22.628,32
4.6	COTAÇÃO	Cascalho para pavimentação	RS 70,00	RS 87,25	m³	1.714,27	RS 149.570,06
4.7	72924	Base de Solo, mistura em usina, compactação 100% proctor modificado, exclusive escavação, carga e transporte	RS 60,46	RS 75,36	m³	1.714,27	RS 129.187,39
Total movimento de terra:							RS 380.080,34
5 Imprimação/Pintura							
5.1	96401	Execução de imprimação com asfalto diluido CM-30	RS 6,69	RS 8,34	m²	11.428,45	RS 95.313,27
5.2	72942	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	RS 1,65	RS 2,06	m²	10.929,38	RS 22.514,52
Total imprimação/pintura:							RS 117.827,79
6 Pavimentação							
6.1	RO-43829	Fabricação e aplicação de concreto betuminoso usinado a quente, modificado por borracha (faixa C)	RS 96,58	RS 120,39	t	786,92	RS 94.737,30
6.2	93590	Transporte com caminhão basculante de 10m³, em via urbana pavimentada	RS 0,78	RS 0,97	m³xkm	26.984,64	RS 26.175,10
Total pavimentação:							RS 120.912,40
7 Obras Complementares de Pavimentação							
7.1	94281	Execução de meio fio e sarjeta de concreto, moldada in loco com extrusora, 30 cm base x 15 cm altura	RS 32,15	RS 40,07	m	1.667,32	RS 66.809,51
7.2	94993	Execução de passeio (calçada) com concreto moldado in loco, usinado, acabamento convencional, espessura 6 cm, armado	RS 50,16	RS 62,52	m²	5.236,10	RS 327.360,97
Total complementares de pavimentação:							RS 394.170,48
8 Sinalização							
8.1	72947	Sinalização horizontal com tinta retrorefletiva a base de resina acrilica com microsferas de vidro	RS 14,42	RS 17,97	m²	461,71	RS 8.296,93
8.2	73916/2	Placa esmaltada para identificação Nr de rua, dimensões 45x25cm	RS 83,46	RS 104,03	unidade	15,00	RS 1.560,45
Total sinalização:							RS 9.857,38
Total geral da obra:							RS 1.102.891,19

Fonte: Adaptada de Prefeitura Municipal de Monte Carmelo (2019).

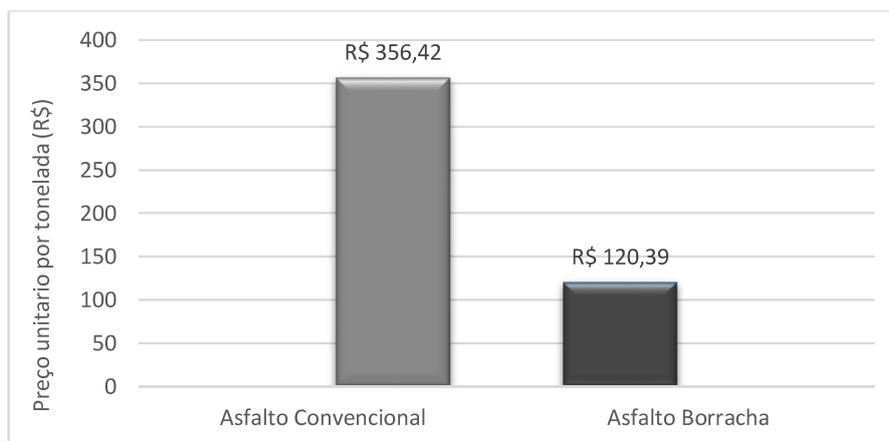
Observa-se, em relação às Tabelas 10 e 11, que os custos entre os pavimentos estudados se diferenciam apenas no item 6 “Pavimentação”. Esse item é responsável pela usinagem, pela aplicação dos revestimentos asfálticos e pelo transporte até o local de execução. Para a

Estudo comparativo da viabilidade ...

pavimentação com asfalto convencional, seriam gastos R\$306.649,13 ao passo que, para o asfalto-borracha, R\$120.912,40. Nota-se que, na utilização do revestimento com CBUQ tradicional, tem-se um custo superior de, aproximadamente, 60% ao asfalto-borracha.

Para a análise comparativa entre os custos orçamentários, foram apresentados, em gráficos, os resultados obtidos. Assim, o Gráfico 1, exibe o preço unitário de cada asfalto, todos na mesma unidade (Tonelada).

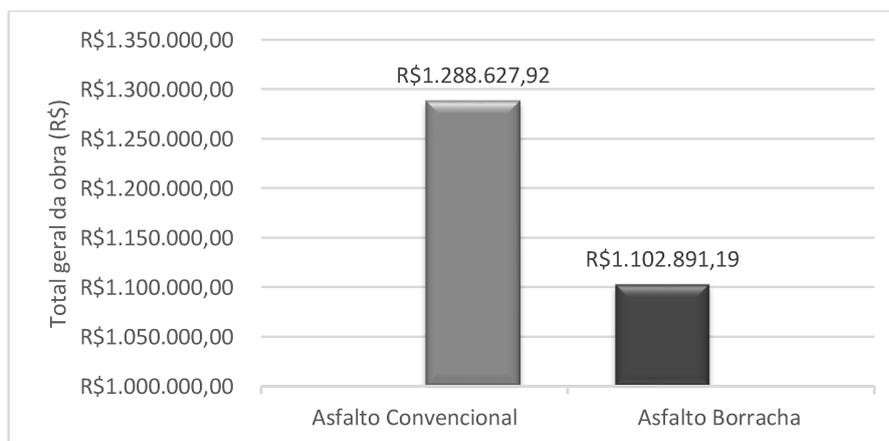
Gráfico 1 - Custo Unitário por tonelada



Fonte: A pesquisadora (2019).

Em análise aos dados, nota-se que o custo unitário do asfalto convencional é maior, uma diferença de R\$ 236,03 em relação ao asfalto-borracha, correspondendo a um aumento de 66%. O Gráfico 2, apresenta o custo total para realizar a obra de pavimentação das vias urbanas do Bairro Campestre com cada um dos asfaltos estudados.

Gráfico 2 - Custo Total para realizar a obra



Fonte: A pesquisadora (2019).

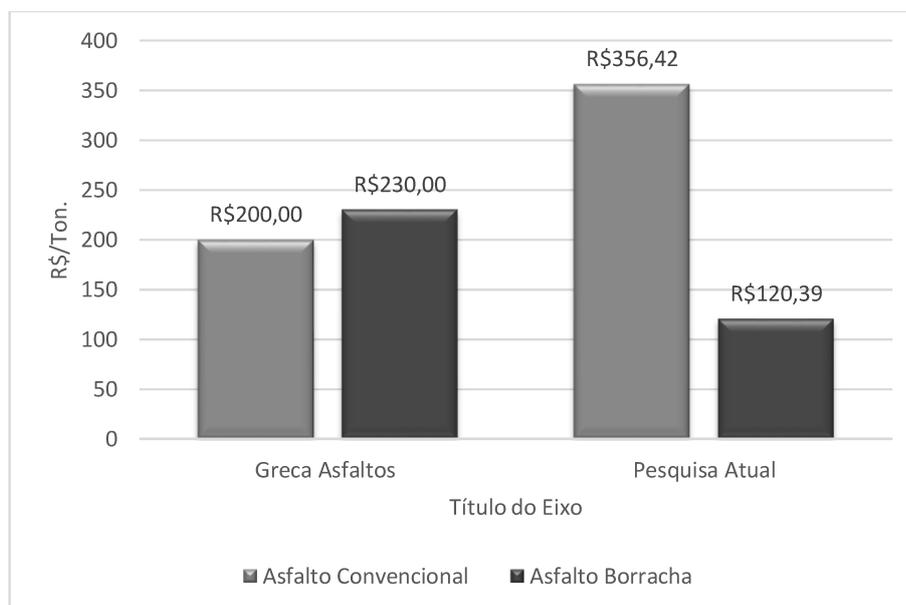
Percebe-se que a obra realizada com o asfalto convencional tem um custo superior, em torno de R\$ 185.736,73 quando comparada com o asfalto modificado com borracha.

Em relação ao custo do asfalto-borracha, anteriormente foi desenvolvida uma pesquisa divulgada pela Greca Asfaltos (2009), exposta na Tabela 2, que mostrou um custo de usinagem/aplicação por tonelada do asfalto-borracha superior ao asfalto convencional, já na parte de custo total da obra, o asfalto modificado por borracha se mostra mais econômico.

Neste trabalho, também foi realizada uma análise de comparação orçamentária entre uma obra de pavimentação, com preços atualizados e foi obtido, um custo de usinagem/aplicação por tonelada mais elevado para o asfalto convencional e um custo final da obra menor no projeto desempenhado com asfalto modificado por borracha, além de outros benefícios, como menor custo com quantidade de manutenção.

O Gráfico 3 exibe um comparativo entre os custos de usinagem/ aplicação por tonelada dos tipos de revestimento asfáltico.

Gráfico 3 - Custo de usinagem/aplicação do revestimento asfáltico por tonelada



Fonte: A pesquisadora (2019).

Nota-se que o custo de usinagem utilizado pela Greca Asfaltos, em 2009, possui uma pequena diferença de preço, em torno de R\$30,00, mas, atualizando-se esses custos para 2019, observa-se um aumento na discrepância entre os revestimentos, o asfalto-borracha equivale a menos da metade que o asfalto convencional, e se torna mais econômico.

4.2 Custos com manutenção

Conforme Bertollo (2000), todo pavimento possui uma vida útil definida, diante disso o asfalto convencional é projetado para durar em torno de dez anos, já com a incorporação da borracha ao asfalto, a vida útil aumenta e está compreendida entre 25 e 30 anos, no entanto é preciso realizar manutenção desses pavimentos ao longo de sua vida útil.

Segundo Zatarin *et al.*, (2017), depois de sete anos de uso de um pavimento, observou e concluiu que o trecho em que foi utilizado revestimento convencional com CAP 50/70 necessitou de 70% de manutenção, enquanto o que recebeu revestimento modificado por borracha, apontou restauração em apenas 10%.

Na cidade de Monte Carmelo, a empresa SOUZAPAV executa o serviço de manutenção das vias urbanas, os trabalhos são realizados da seguinte forma:

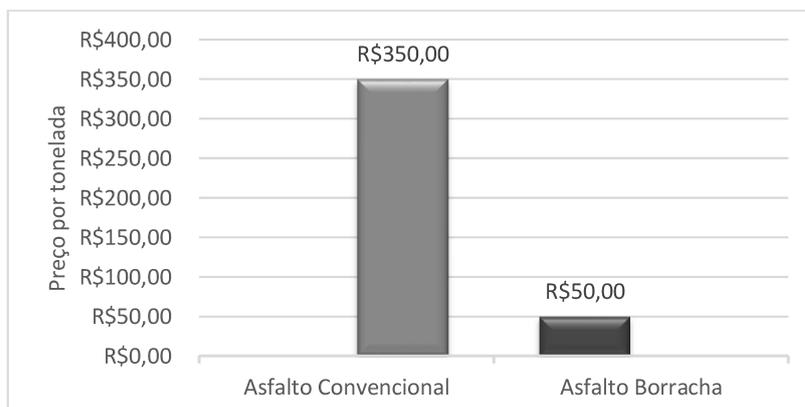
- Quando executam o serviço de tapa-buraco, é cobrado por tonelada. Preço em torno de R\$500,00 a tonelada.
- Quando executam o serviço de recapeamento ou capa asfáltica nova, é cobrado por m², e o preço é em torno de R\$50,00 m².

De acordo com Zatarin *et al.*, (2017), percebem-se diferentes tipos de deterioração do asfalto durante sua vida útil. Calculando o custo da quantidade de manutenção pelo percentual, durante um período de sete anos, obtemos os seguintes resultados:

Para o serviço de tapa-buraco: nesse caso a área para manutenção é de 10.887,63 m², considerando que o local tenha buracos de pequeno a grande porte, a empresa SOUZAPAV calculou que seriam gastas 264 toneladas, ocasionando um custo de R\$132.000,00.

- Manutenção do asfalto convencional: $R\$ 500,00/t \times 0,7 = R\$ 350,00$
- Manutenção do asfalto-borracha: $R\$ 500,00/t \times 0,1 = R\$ 50,00$

Gráfico 4 - Custo de Manutenção (tapa-buraco)

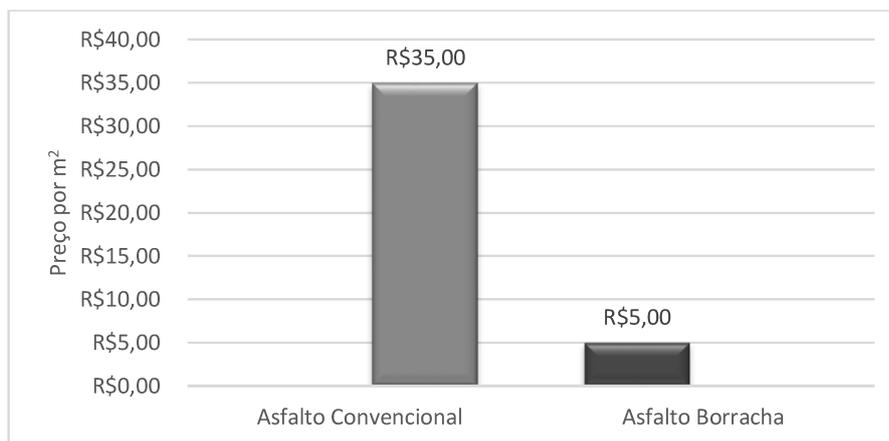


Fonte: A pesquisadora (2019).

Para o serviço de recapeamento:

- Manutenção do asfalto convencional: $R\$ 50,00/m^2 \times 0,7 = R\$ 35,00$
- Manutenção do asfalto-borracha: $R\$ 50,00/m^2 \times 0,1 = R\$ 5,00$

Gráfico 5 - Custo de Manutenção (recapeamento)



Fonte: A pesquisadora (2019).

Analisando os Gráficos 4 e 5, é perceptível que o custo para o asfalto-borracha é menor, quando comparado com o asfalto convencional. A utilização do revestimento com CBUQ tradicional ocasionaria um gasto em torno de sete vezes superior ao valor do asfalto-borracha. Sendo assim, o asfalto-borracha seria vantajoso na questão econômica e necessitaria de menor quantidade de serviço de manutenção durante sua vida útil.

4.3 Sustentabilidade relacionada aos pneus inservíveis

Os pneus descartados a serem empregados na produção do asfalto-borracha podem ser encontrados em terrenos baldios, em rios ou em córregos, entre outros lugares. Quando deixados em locais inadequados prejudicam o meio ambiente, porque ocasionam a poluição dos solos, em decorrência do longo período para se decompor, em torno de 600 anos. Ainda mais, quando ficam expostos ao sol e à chuva, podem liberar substâncias tóxicas que contaminam a atmosfera, além de serem fontes de doenças como a dengue, entre outras, mas reaproveitados e reutilizados esses pneus inservíveis, eles se tornam uma forma sustentável para o meio ambiente.

5 CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho conclui-se que a utilização do asfalto modificado por borracha de pneus inservíveis mostra-se um procedimento viável e satisfatório, por apresentar atributos favoráveis como maior vida útil, ou seja, aumento da durabilidade, melhor trafegabilidade, menor manutenção e menor custo de fabricação e de execução. Torna-se, de modo geral, um revestimento mais econômico e com melhores propriedades. Ainda, proporciona a diminuição do consumo de petróleo, por meio da substituição de uma parcela de asfalto por borracha moída de pneu, dado que o petróleo é um recurso não renovável de energia.

Os objetivos propostos foram cumpridos, percebeu-se que o asfalto-borracha possui maior durabilidade, necessita de menor número de manutenção e, conseqüentemente, tem um custo menor, em relação ao orçamento comparativo entre os dois tipos de revestimento asfáltico, o asfalto-borracha se apresentou mais vantajoso economicamente, além de levar em consideração a sustentabilidade do mesmo, pois é produzido por meio de borracha triturada de pneus velhos, que seriam descartados.

O Brasil é dependente do modal rodoviário, e são necessárias constantes inovações e busca por novas técnicas nessa área. O asfalto-borracha utilizado nas rodovias e nas vias urbanas tem como objetivo o desenvolvimento econômico, político e social, pois há também uma preocupação com o meio ambiente. Com o aumento de incentivos a pesquisas e com a conscientização da sociedade é possível que a produção desse asfalto aumente e beneficie a todos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família, e muito obrigada a todos que, direta e indiretamente, fizeram parte da minha formação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: informação e documentação, trabalhos acadêmicos, apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ANDRIETTA, A. J. **Pneus e Meio Ambiente**: Um Grande Problema Requer uma Grande Solução. Outubro, 2002. Disponível em: https://cdn.fbsbx.com/v/t59.2708-21/72383151_532446754214640_635281639387168768_n.pdf/docdownloader.com_pneus-e-meio-ambiente.pdf?_nc_cat=105&_nc_oc=AQncrXNOrl7M9qK8nrFag6vx9P8

SOUZA, L. de F.; MOTA, K. R. R.

ec2H6lZNCkqmqiJ9d1SKz0HTwbRkdBk7odupH0gk&_nc_ht=cdn.fsbx.com&oh=2e491638c3b40124a562061e23b44f63&oe=5DB8C4E6&dl=1&fbclid=IwAR24x56ojDIQk2nr42XGa3BOgjGxQQWko8iGoLy4ptx8iH0IYgSTTEH0Ejk. Acesso em: 28. mar. 2019.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS, ABEDA, 2008. E-book. Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2018/03/Cap-4-Tipos-de-revestimentos-asf%C3%A1lticos.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2019.

BERTOLLO, S. M.; FERNANDES JR., J. L.; SCHALCH, V. Benefícios da Incorporação de Borracha de Pneus em Pavimentos Asfálticos. *In*: XXVIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITARIA. **Anais**. Cancun, México, 2002. Disponível em <http://waste.com.br/textos/Reciclagem%20de%20pneus.pdf>. Acesso em 08 maio 2019.

BRANCO, F.; PEREIRA, P.; SANTOS, L. P. **Pavimentos Rodoviários**. Coimbra: Almedina, 2016.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Referência de Preços e Custos**, MG, SINAPI. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 10 jul. 2019.

CNT - Confederação Nacional dos Transportes. **Pesquisa Rodoviária**, 2007. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: 10 mar. 2019.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resoluções e outros atos**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 18 mar. 2019.

ECHEVERIA, J. A. S., *et al.* **Avaliação da Mistura Asfáltica com incorporação da Borracha de Pneu**. *In*: XXVIII CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA (CRICTE). **Anais...** Ijuí, RS, 2017. Disponível em: [file:///C:/Users/Laryssa%20Souza/Downloads/8897-1-37542-1-10-20180212%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Laryssa%20Souza/Downloads/8897-1-37542-1-10-20180212%20(2).pdf). Acesso em: 03 jun. 2019.

GRECA ASFALTOS. **Linha ECOFLEXPAVE**. Disponível em: http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf. Acesso em: 25 mar. 2019.

GRECA ASFALTO. Blog Fatos e asfaltos. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br/blog/>. Acesso em: 28 mar. 2019.

MARQUES, G. L. de O. **Pavimentação**. 2006. Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019.

MENDES, C. B. A.; NUNES, F. R. **Asfalto Borracha**: minimizando os impactos ambientais gerados pelo descarte de pneus inservíveis no meio ambiente. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação do Curso de Engenharia de Produção-Civil) - Faculdade Brasileira –

UNIVIX. Vitória, 2009. Disponível em:

http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2010/Biologia/monografias/2asfalto.pdf. Acesso em: 19 ago. 2019.

ODA, S.; FERNANDES JUNIOR, J. L. Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 23, p. 1589-1599, 5 maio 2001. ISSN: 1415-6814. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/2804/1855>. Acesso em: 08 abr. 2019.

PEDROZO, L. G. **Custos da Infraestrutura Rodoviária: Análise e Sistematização**. 2001. Trabalho de Conclusão do Curso (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Porto Alegre, 2001. Disponível em: https://doc-10-6c-apps-viewer.googleusercontent.com/viewer/secure/pdf/rl0aiebm6e6jgj15f7b0mde2t8bafk8l/gt40qh7fnqv2mrv63nuihf18mk7t29jh/1572200775000/gmail/17908221911184747036/ACFrOgDwoRihpCAz-1xFJ4tRZyucHvRd7NyJPtTVoGsl1kK1pGoP9-8Ym_LAEoxZNj6U2uGuGGn37zYVleyuqFVExbqjIqgQrIvoxCQ16sllQwCKZItMYJ08FI7GeY=?print=true&nonce=frkqt0cfn6u3g&user=17908221911184747036&hash=hjgkde2j0ie90j8gr96pqs4db6cbpc6i. Acesso em: 10 ago. 2019.

PINTO, S.; PINTO, I. E. **Pavimentação Asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2015.

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

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

SILVA, J. P. da; DAMO, J. **Reciclagem de Pneus**. In: XI SIMPOSIO DE EXCELENCIA EM GESTAO E TECNOLOGIA (SEGeT) **Anais...** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/9207.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019.

SPECH, L. P. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de borracha reciclada de pneus**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5192/000422319.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 jun. 2019.

WICKBOLDT, V. e S. **Ensaio acelerado de pavimentos para avaliação de desempenho de recapamentos asfálticos**. 2005. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7642/000550240.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 jun. 2019.

ZATARIN, A. P. M. *et al.* Viabilidade da Pavimentação com Asfalto Borracha. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 649-674, out.2016/mar. 2017. ISSN 2238-8753. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3323. Acesso em: 09 abr. 2019.