

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UNIEVANGÉLICA
CAMPUS CERES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FELIPE MORAES BORBA
FIDELIS HENRIQUE EVANGELISTA

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE MASSA ASFÁLTICA COM ADITIVO DE
BORRACHA EM OPERAÇÕES DE RECUPERAÇÃO DE VIAS PAVIMENTADAS

PUBLICAÇÃO Nº:

CERES / GO
2019

**FELIPE MORAES BORBA
FIDELIS HENRIQUE EVANGELISTA**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE MASSA ASFÁLTICA COM ADITIVO DE
BORRACHA EM OPERAÇÕES DE RECUPERAÇÃO DE VIAS PAVIMENTADAS**

PUBLICAÇÃO Nº:

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA CAMPUS CERES.**

ORIENTADOR: VILSON DALLA LIBERA JUNIOR

CERES / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

BORBA, FELIPE MORAES e EVANGELISTA, FIDELIS HENRIQUE.

Estudo da aplicação de massa asfáltica com aditivo de borracha em operações de recuperação de vias pavimentadas [Goiás] 2019.

21 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Asfalto-borracha

2. PMF

3. Pavimento

4. Recuperação

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BORBA, F. M.; EVANGELISTA, F. H. Estudo da aplicação de massa asfáltica com aditivo de borracha em operações de recuperação de vias pavimentadas. TCC, Publicação ENC. PF-001A/19, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 21p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe Moraes Borba e Fidelis Henrique Evangelista

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo da aplicação de massa asfáltica com aditivo de borracha em operações de recuperação de vias pavimentadas.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

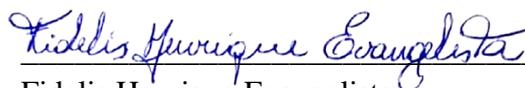


Felipe Moraes Borba

Rua MV-9, s/n, Cj. Morada Verde.

76300-000 – Ceres/GO - Brasil

E-mail: felipemoraes7@hotmail.com



Fidelis Henrique Evangelista

Rua Rosalina Cândida, 180, Jardim Bela

Vista. 76300-000 – Ceres/GO – Brasil

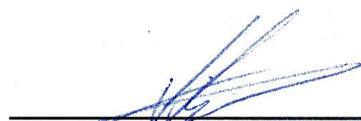
E-mail: fidelis@hotmail.com

**FELIPE MORAES BORBA
FIDELIS HENRIQUE EVANGELISTA**

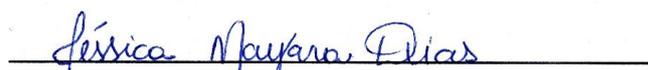
**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE MASSA ASFÁLTICA COM ADITIVO DE
BORRACHA EM OPERAÇÕES DE RECUPERAÇÃO DE VIAS PAVIMENTADAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:



**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (Centro Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(ORIENTADOR)**



**JÉSSICA NAYARA DIAS, Mestre (Centro Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**VITOR MAGALHÃES ZAGO DE SOUSA, Mestre (Centro Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: CERES/GO, 13 de DEZEMBRO de 2019.

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE MASSA ASFÁLTICA COM ADITIVO DE BORRACHA EM OPERAÇÕES DE RECUPERAÇÃO DE VIAS PAVIMENTADAS

Felipe Moraes Borba¹
Fidelis Henrique Evangelista²
Wilson Dalla Libera Junior ³

RESUMO

O aproveitamento da composição da borracha dos pneus descartados para compor os insumos da fabricação de pavimentos asfálticos tem se tornado uma realidade. Esta aplicação pode ser realizada através da adição da borracha no processo de execução da chamada Pré Mistura à Frio (PMF), podendo resultar numa melhora na qualidade da aplicação de pavimentos e recuperação de vias urbanas e rodovias. Neste contexto, o presente trabalho avaliou a aplicação do PMF com aditivo de borracha como alternativa aos métodos de pavimentação convencionais em operações de reestruturação de vias. Foram coletados dados referentes a execução dos serviços de recuperação de pavimentos asfálticos na cidade de Ceres – GO. Em seguida, foi obtido, através de consulta em sites governamentais, os itens que compõe as massas asfálticas utilizadas na manutenção dos pavimentos. Os dados referentes a resistência dos materiais estudados foram coletados na literatura e comparados entre si. Foram identificadas as patologias que surgem nos pavimentos flexíveis e suas respectivas correções, onde, comparou-se o asfalto-borracha em relação ao PMF. De acordo com os resultados obtidos pode-se observar que o concreto asfáltico com aditivo de borracha apresenta valores de usinagem relativamente mais elevados. Na aquisição dos materiais para confecção do PMF pela Prefeitura Municipal de Ceres, constatou-se que o custo para obtenção é o mais elevado entre os comparados. Em relação a correção de patologias das vias pavimentadas, a massa asfáltica com borracha foi indicada principalmente para a correção de buraco. O desempenho mecânico do asfalto-borracha para correção das patologias foi superior ao PMF quanto ao fissuramento, afundamento de trilha de rodas e índice de irregularidade. Em comparação ao uso de PMF, a massa asfáltica com aditivo de borracha acrescenta elevado valor de preparação ou aquisição, contudo seu fator de durabilidade aliado ao baixo custo de manutenção preventiva amplia sua relação custo benefício.

Palavras-chave: Asfalto-borracha. PMF. Pavimento. Recuperação.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: fm-borba@hotmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: fidelis@hotmail.com

³ Mestre em Integridade de Materiais da Engenharia, professor do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: wilson.dalla@gmail.com

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 METODOLOGIA	7
2.1 Classificação e planejamento da pesquisa	7
2.2 Coleta e seleção de dados	7
2.3 Classificação das patologias e métodos de recuperação	8
2.4 Avaliação da relação custo benefício entre os pavimentos	8
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
3.1 Produção de massas asfálticas	9
<i>3.1.1 Usinagem de concreto asfáltico com borracha</i>	<i>11</i>
<i>3.1.2 Usinagem do PMF</i>	<i>12</i>
3.2 Custo das massas asfálticas	12
3.3 Aplicação da massa asfáltica para correção de patologias	15
3.4 Resistência mecânica dos pavimentos	18
4 CONCLUSÕES	19
REFERÊNCIAS	20

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Civil desempenha um papel fundamental no aprimoramento dos processos construtivos através do uso de novas tecnologias e materiais em aplicações nos mais diversos setores da construção civil. Com os avanços tecnológicos destes processos construtivos, existe uma possibilidade de reverter cenários negativos, onde existe muito descarte irregular de rejeitos, sejam eles domésticos, industriais e/ou de construção. Entre estes rejeitos, os de origem pneumática (pneus) geram graves problemas ao meio-ambiente e à saúde da população, principalmente quando não são submetidos ao tratamento adequado de reciclagem ou reaproveitamento. O aproveitamento da composição da borracha dos pneus descartados geralmente ocorre por meio do processamento do material, através da trituração e transformando-o em uma raspa ou pequenos flocos de borracha, onde este material pode ser utilizado como aditivo para compor os insumos da fabricação de pavimentos asfálticos por exemplo. Esta aplicação pode ser realizada através da adição da borracha no processo de execução da chamada Pré Mistura à Frio (PMF), podendo resultar numa melhora na qualidade da aplicação de pavimentos e recuperação de vias urbanas e rodovias (CLERMAN, 2004).

De acordo com a norma do DNIT 153 (2010), a definição do material PMF, é dada como uma mistura produzida à temperatura ambiente, em usina apropriada, composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (*filler*) e emulsão asfáltica, para espalhamento e compressão a frio (IPR, 2010). A aplicação do PMF é amplamente utilizada nos pavimentos asfálticos, principalmente como recuperação de vias já pavimentadas, aplicando uma camada de recapeamento sob o pavimento já existente. Em relação ao CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) o PMF é uma alternativa mais econômica, porém de validade da funcionalidade inferior (ZAGONEL, 2008).

As rodovias brasileiras têm histórico de apresentarem patologias continuamente. Entre os fatores que contribuem para o surgimento destas patologias pode-se listar a dimensão territorial do país, onde também não se adapta os métodos construtivos dos pavimentos às condições regionais do local da pavimentação, ocasionando o mau dimensionamento do revestimento asfáltico e/ou a má execução do processo construtivo da pavimentação, que pode acelerar o surgimento das patologias, visto que a ação das intempéries, como a de águas da chuva, principalmente em regiões de clima chuvoso, e o desgaste pelo trânsito dos veículos já é um fator que determina o aparecimento das patologias onde a falta a manutenção adequada de toda a estrutura do pavimento (CNT, 2017).

Existem diversas classificações das patologias que comumente ocorrem nos pavimentos das rodovias brasileiras, em sua maioria apresentadas nos modelos de pavimentos executados do tipo flexível, que são os compostos por várias camadas de sua base estrutural e revestidos de material betuminoso, a exemplo do PMF. Entre as patologias mais comuns que ocorrem nos tipos de revestimentos asfálticos pode-se destacar a panela, popularmente conhecida como buraco, que é uma erosão de pequeno ou médio porte no pavimento, podendo provocar a desprendimento do revestimento e até de camada da base; além deste ocorrem às trincas, os afundamentos e as fissuras e do revestimento com possíveis impactos nas camadas inferiores. A trinca é considerada uma fenda, com a espessura superior à da fissura, elas aparecem devido à fadiga decorrente de deformações, podem se apresentar de forma isolada ou interligada, em rede ou blocos, e que podem dar origem a uma erosão. A trinca de retração

é ocasionada pelos fenômenos de retração térmica de qualquer dos materiais que compõem o pavimento. As deformações que surgem no revestimento do pavimento e do tipo afundamento são depressões causadas pela fluência plástica ou consolidação diferencial de alguma camada do pavimento, quando for localizada longitudinalmente no caminho da trilha de roda é denominado afundamento plástico ou de consolidação da trilha de roda, quando apresentada em trechos transversais é denominada ondulação ou corrugação e quando surge nas extremidades da faixa de rolamento trata-se de um escorregamento (DNIT, 2003).

Nos processos de correção destas patologias, pode-se acrescentar ao material utilizado para a recomposição do pavimento, a adição da borracha, o que oferece maior durabilidade à mistura asfáltica no preenchimento de uma panela/buraco, desenvolvendo melhores remendos superficiais (como as trincas ou fissuras) ou nos profundos (buracos) executando a recuperação nas vias, comparado com os materiais convencionais e ainda retarda o desenvolvimento de novas patologias por reflexão e reduz a penetração de água em camadas subjacentes do revestimento (EMERY, 1995).

A adição da borracha pode ocorrer através de dois tipos de procedimentos: no primeiro os flocos de borracha triturada são adicionados à uma mistura comum de preparo de massa asfáltica, dando origem a um "agregado-borracha" ou concreto asfáltico modificado por borracha, através do processo denominado "à seco", sendo a borracha considerada um agregado envolvida pelo ligante asfáltico; no segundo procedimento denominado "à úmido" a borracha é utilizada para aglutinar as demais partículas dos agregados através do ligante modificado pela borracha, como resultado deste processo obtém-se o "asfalto-borracha" (SALINI; MARCON, 1998).

Entre as principais técnicas de aplicação nas pavimentações, as massas asfálticas com aditivo de borracha têm se apresentado uma alternativa atraente aos pavimentos convencionais. O reaproveitamento de pneus descartados tem ganhado cada vez mais importância no cenário nacional após a implementação da política de reversão de pneus inservíveis no ano de 2009 no Brasil, o CONAMA publicou a Resolução 416 que determina a coleta e reversão dos pneus, dando assim a eles a destinação de descarte correta. Neste contexto, o aproveitamento desta borracha moída em aditivos para o asfalto surge como uma medida econômica e ambientalmente amigável (CONAMA, 2009). Com a possibilidade de uso no caso de novas pavimentações, o asfalto-borracha pode receber até mil pneus inservíveis por quilometro quadrado na composição do material asfáltico, o que contribui significativamente para a compensação ambiental (GIULIO, 2007).

Além da medida ecológica outros benefícios podem-se se citar na utilização do asfalto com aditivo de borracha, no qual mesmo com a melhor aderência à borracha dos pneus proporciona redução do ruído do tráfego em até 10 db ao transito dos veículos, que é uma característica de conforto, e proporcionando também maior eficiência às solicitações de cargas, proporcionando melhor resistência às deformações plásticas, conseqüentemente, buscando uma maior vida útil ao pavimento, além de oferecer segurança ao tráfego e ao usuário da rodovia (SALINI; MARCON, 1998).

Nesta perspectiva, o presente trabalho estudou a utilização de massa asfáltica com aditivo de borracha como alternativa aos métodos de pavimentação convencionais em operações de estruturação de vias.

2 METODOLOGIA

2.1 Classificação e planejamento da pesquisa

Foi realizado um estudo técnico-descritivo e comparativo, sobre as características de recuperação de pavimentos flexíveis, através do uso de massa asfáltica com adição de borracha proveniente do reaproveitamento de pneus inservíveis na sua composição. De tal modo, foi estudada as propriedades do aditivo de borracha como fator econômico, ambiental e qualitativo inserido como agregado no material convencional de pavimentação asfáltica, do tipo PMF, comparando o seu uso em relação ao PMF sem aditivo de borracha.

Em comparação ao concreto asfáltico com borracha, neste estudo foi designada a massa asfáltica do tipo Pré Misturado a Frio. Inicialmente foi analisada a aplicação convencional do PMF com aditivo de borracha em pavimentos flexíveis da cidade de Ceres – GO, especialmente em reparos de vias já pavimentadas, na manutenção das mesmas, através de operações tapa-buraco. Em seguida foram propostos métodos sintéticos visando comparar as propriedades destes materiais asfálticos utilizados na manutenção, tais como viabilidade técnica, financeira e durabilidade em relação à massa asfáltica com aditivo de borracha. Este estudo visou a coleta de dados sobre o uso de materiais asfálticos em etapas de manutenção de pavimentos flexíveis, buscando analisar os custos, métodos de preparo, aplicação e propriedades dos materiais empregados para compará-los com a possível aplicação da massa asfáltica com aditivos de borracha, destacando o melhor uso dos recursos de engenharia disponíveis que possam agregar melhores resultados aos serviços de recuperação asfáltica, especialmente em vias urbanas.

2.2 Coleta e seleção de dados

Executou-se a atividade de coleta de dados através de um levantamento bibliográfico das características e custo dos materiais empregados na confecção de massas asfálticas dos modelos analisados neste estudo. Também foram coletados dados referentes a execução dos serviços de recuperação de pavimentos asfálticos na cidade de Ceres – GO, estes dados foram fornecidos no formato de licitação pela Secretaria de Obras do município de Ceres/GO. Foi obtido através de consulta em sites governamentais, tais como Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e Agência Nacional do Petróleo (ANP), os itens que compõe as massas asfálticas utilizadas na manutenção de pavimentações, através de tabelas de referência e manuais para custos de fornecimento dos produtos e serviços.

Foram coletados dados referentes a estrutura mecânica dos materiais estudados, a fim de obter parâmetros básicos de suas capacidades físicas e de resistência mecânicas, quando submetidas à testes ou ensaios de campos, estas pesquisas foram baseadas em estudos já concluídos dispostos na literatura.

Após a coleta, procedeu a seleção dos itens e a inserção dos dados e valores unitários em planilhas semiestruturadas do *Microsoft Excel*, classificados de acordo com o tipo de material de recuperação na manutenção ou correção das patologias. Nas análises e dados coletados não foram considerados os elementos estruturais das bases e/ou leito do pavimento, onde os materiais estudados são aplicados, apenas no revestimento, onde foi considerado

especificamente as propriedades do concreto asfáltico com aditivo de borracha e PMF convencional.

De modo complementar à esta pesquisa, foi analisado o processo de aquisições de materiais de pavimentação asfáltica para a execução de uma tonelada de Pré Misturado a Frio (PMF) em diversas ruas e avenidas do município de Ceres – GO para serviços de tapa buraco, utilizando-se como referência bibliográfica uma licitação para aquisição dos materiais necessários para a confecção do produto do tipo PMF a fim de exemplificar obras por execução direta nas correções das patologias apresentadas nas vias urbanas pavimentadas. A licitação do local do estudo selecionada, oferece uma melhor perspectiva de realidade de produtos e valores adotados na região. Também foi apresentado um tipo de produto comercializado pronto, denominado pelo fabricante como sendo um material ecológico, e de fácil manuseio, visto que compõe na sua formulação o aditivo de borracha de pneus inservíveis, e é produzido com concreto asfáltico usinado a quente para aplicação a frio, a base de CAP 50/70 intitulado “*Eco Instant-Pav*”, este produto foi aplicado em trechos da Av. Bernardo Sayão, no Centro do município de Ceres – GO, em pontos onde haviam patologias, durante uma operação “tapa buracos” no mês de julho do ano de 2018.

2.3 Classificação das patologias e métodos de recuperação

Foram identificadas ao longo deste trabalho as patologias que surgem nos pavimentos flexíveis, a fim de ilustrar a possível aplicação da massa asfáltica com aditivo de borracha em relação ao PMF. Após a coleta de dados, algumas patologias específicas foram selecionadas e classificadas de acordo com a norma DNIT 005 (2003) (Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia), algumas patologias foram ilustradas no decorrer do trabalho para melhor discussão. Posteriormente apresentou-se indicações de métodos de recuperação adequados para cada patologia, inclusive com procedimentos que são essenciais para a boa execução dos serviços.

2.4 Avaliação da relação custo benefício entre os pavimentos

Para o estudo das massas asfálticas foi adotada a dosagem específica de quatro frações predefinidas pelo DNIT, onde cada faixa granulométrica representa o tipo da aplicação adequada, determinada pela proporção de agregados e emulsão para execução dos serviços com Pré-misturado a frio.

Durante o estudo, foram selecionados dois tipos de procedimentos para a confecção da mistura asfáltica com aditivo de borracha. Conforme mencionado anteriormente, o processo a seco dá origem ao “agregado-borracha” onde a borracha triturada é acrescentada separadamente dos agregados e ligantes asfálticos (CAP), resultando no concreto asfáltico com borracha. No processo úmido, minúsculas partículas da borracha são adicionadas ao CAP aquecido, dando origem ao denominado “Asfalto-borracha”. Ainda pode-se obter via úmida a mistura estocável de CAP com borracha, inclusive comercializada pela Agencia Nacional do Petróleo, mas também podendo produzir a mistura na própria obra, adicionando a borracha com o ligante em equipamento apropriado e aplicando-o logo após o preparo (SALINI; MARCON, 1998).

Neste trabalho foi utilizado como referência a obtenção do concreto asfáltico com aditivo de borracha pelo CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) com borracha, devido à sua comercialização pela ANP e também por ser o material indicado para a finalidade de fabricação de misturas asfálticas para serem aplicadas em recuperação de vias urbanas e rodoviárias, sendo a emulsão base de massas asfálticas confeccionadas com asfaltos modificados, indicados para a manutenção de pavimentos de acordo com a Petrobras Distribuidora (SANTANA, 1993). Os resultados obtidos com a análise dos dados foram aferidos de acordo com estudos presentes na literatura. Em seguida, os revestimentos foram comparados entre si através dos valores estimados para o preparo e aplicação de cada tipo de material asfáltico, obtidos em tabelas de custos e valores disponibilizados pelos órgãos de regulação a cada produto, sejam eles o DNIT e/ou ANP.

Entre os itens que compõe as tabelas de valores, foram selecionados somente os que se apresentam de maneira simplificada na massa asfáltica, seja ele o PMF convencional ou concreto asfáltico com aditivo de borracha. Os valores dos itens foram coletados na Tabela do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) (DNIT, 2019), utilizando como referência o estado de Goiás e o mês de abril de 2019; e tabela de preço médio mensal ponderado praticado pelos distribuidores de produtos asfálticos (ANP, 2019), utilizando como referência o estado de Goiás e o mês de outubro de 2019.

Ao longo do trabalho foi realizado o levantamento dos benefícios da aplicação de pneus inservíveis descartados em massas asfálticas. Esta análise foi realizada através da interpretação dos dados quantitativos dos valores empregados que são necessários em cada produto final e da análise dos dados de comportamento estrutural destes elementos. Por fim, foi possível estabelecer a viabilidade técnica-econômicas entre os dois métodos de recuperação, alinhando o custo de produção com a durabilidade e resistência dos pavimentos. Além disso, foi incluso ainda fatores de viabilidade operacional dos produtos, como o transporte ou fatores locais e externos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção de massas asfálticas

De acordo com o DNIT, o concreto asfáltico é obtido pelo processo em que se mistura os agregados graúdos, os materiais de enchimento e o CAP – Cimento Asfáltico, esta mistura deve ser executada em uma usina asfáltica apropriada à alta temperatura, seguindo as características estipulados em norma para cada modelo de material desejado a ser fabricado. O principal objeto apresentado por este estudo, o Concreto Asfáltico com borracha, é definido pela norma de Especificação de Serviço nº 112/2009 do DNIT, que ainda define granulometricamente em três faixas as misturas contínuas e a descontínua “*gap graded*” em uma única faixa, que produz o concreto asfáltico com asfalto borracha.

O SICRO apresenta composições de custos de usinagem de concreto asfáltico com borracha considerando a utilização de ligante asfáltico do tipo AB-8, com 15% de borracha, e a utilização de agregados produzidos ou comerciais, conforme preconizado na Especificação de Serviço DNIT nº 112/2009. Em relação ao agregado, foram desenvolvidas composições de custos de usinagem do concreto asfáltico com borracha para as seguintes situações: Faixa A -

Camada de ligação (*binder*) - brita comercial e produzida; Faixa B - Camada de ligação e rolamento - brita comercial e produzida; Faixa C - Camada de rolamento - brita comercial e produzida; Faixa “*Gap Graded*” - Camada de rolamento - brita comercial e produzida.

A tabela 1 apresenta os materiais necessários e seus consumos para a confecção do concreto asfáltico com borracha em função da massa final necessária para a execução do serviço. As medidas das misturas asfálticas para serem aplicadas no pavimento devem ser estipuladas em tonelada, já incluso as despesas de mão-de-obra, usinagem, equipamentos, espalhamento, compactação e as composições de transporte apropriadas (DNIT, 2008).

Tabela 1 - Consumo de materiais por tonelada de concreto asfáltico com asfalto borracha.

Material	Unid.	Faixa A	Faixa B	Faixa C	Gap Graded
Brita 0	m ³	0,15873	0,16981	0,12579	0,09434
Pó de pedra	m ³	0,20952	0,24528	0,32704	0,19497
Brita 1	m ³	0,15873	0,06289	-	-
Pedrisco	m ³	0,08254	0,1195	0,13836	0,31447
CAP 50/70 com borracha	t	0,04762	0,0566	0,0566	0,0566
Cal hidratada	kg	38,09524	47,16981	56,60377	37,73585

Fonte: Adaptado de DNIT, (2008)

O Pré-misturado a frio consiste em uma mistura de agregados mineral graduado, material de enchimento (*filer*) e emulsões asfálticos à temperatura ambiente, para espalhamento e compactação à temperatura ambiente (Silveira, 1999; Moreira & Soares, 2002).

O PMF pode ser confeccionado com diferentes distribuições granulométricas de agregados, resultando em misturas mais abertas: graduação aberta, com elevado volume de vazios; e densos: graduação contínua e bem-graduado, com baixo volume de vazios. Quando o PMF é aberto, seu índice de vazios pode chegar a 20%, resultando neste caso num material bastante drenante. Tal característica reproduz à necessidade de cuidados especiais com a mistura: a camada inferior ao PMF deve estar bem selada (ou mesmo ser fechada) para impedir a descida de água para camadas subjacentes, o material das misturas abertas deve ter resistência basicamente provida pelo esforço de compactação, devido ao atrito interno entre os agregados; o ligante necessita ser capaz de promover uma coesão mínima entre os grãos. São especialmente indicados como camadas de base ou de regularização para um pavimento existente (BERNUCCI et al., 2010).

Os PMF's são classificados em três classes quanto a seu volume de vazios, como pode ser analisada na tabela 2.

Tabela 2 – Classificação do PMF quanto a seu volume de vazios.

Denominação	% Vazios
Aberto	22 a 30
Semi Densos	15 a 22
Densos	5 a 15

Fonte: Adaptado de ADEBA (2001)

Foi adotada a metodologia que se baseia na dosagem específica de quatro frações predefinidas pelo DNIT, onde cada faixa granulométrica representa o tipo aplicação determinada e já oferece proporção adequada de agregados e emulsão independentemente do tipo de ligante, para execução dos serviços com Pré-misturado a frio. O SICRO apresenta composições de custos elaboradas para execução do Pré-misturado a frio com emulsão convencional (Especificação de Serviço DNIT 153/2010) ou com emulsão modificada por polímero (Especificação de Serviço DNER 390/99).

A tabela 3 apresenta os consumos dos materiais adotados nas composições em função do volume de Pré-misturado a frio executado.

Tabela 3 – Consumo de materiais por unidade de volume de Pré-misturado a frio.

Faixa granulométrica	Brita 1 (m³)	Brita 0 (m³)	Areia média (m³)	Emulsão (t)	Cal hidratada (kg)
A	0,172524	0,62794	0,29206	0,18254	43,80952
B	-	0,70095	0,36508	0,18254	43,80952
C	-	0,37968	0,37968	0,18254	87,61905
D	-	0,4527	0,4527	0,18254	87,61905

Fonte: Adaptado de DNIT, (2019)

De acordo com o DNIT, os serviços de Pré-misturado a frio devem ser medidos em m³, em função do volume efetivamente aplicado na pista, assim foi necessário posteriormente a alteração da unidade de medida para tonelada, visto que para realizar a comparação entre os dois tipos de massa, PMF e Concreto asfáltico com borracha, é necessário a adoção de uma medida uniforme.

3.1.1 Usinagem de concreto asfáltico com borracha

A tabela 4 apresenta os consumos dos materiais adotados nas composições de concreto asfáltico com borracha em função da massa de serviço executado.

Tabela 4 – Consumo de materiais por tonelada de concreto asfáltico com borracha.

Faixa	Brita comercial				Brita produzida (m³)	CAP com borracha (t)	Cal hidratada (kg)
	Brita 1 (m³)	Brita 0 (m³)	Pedrisco (m³)	Pó de pedra (m³)			
A	0,15873	0,15873	0,08254	0,20952	0,60952	0,04762	38,09
B	0,06289	0,16891	0,1195	0,24528	0,59748	0,04717	47,16
C	-	0,12579	0,13836	0,32704	0,59119	0,05189	56,6
<i>Gap graded</i>	-	0,09434	0,31447	0,19497	0,60377	0,0566	37,73

Fonte: Adaptado de DNIT, 2019

Analisado os dados classificados na tabela 4, foi selecionado a faixa “C” para a obtenção dos insumos para a produção da massa. Esta faixa representa a camada de rolamento, onde diretamente estará aplicado o produto produzido. A aplicação deste material tem como finalidade a recuperação do revestimento ou capa asfáltica que apresenta a

manifestação de patologias na sua estrutura. Ainda foram selecionados os itens do tipo “brita comercial”, devido ser a matéria-prima disponível comercialmente. A brita comercial proporciona melhor acesso e conseqüente custo benefício pois não necessita de maquinário específico para a extração e britagem do material natural.

3.1.2 Usinagem do PMF

A preparação da mistura de PMF, deve ser realizada em usina apropriada, calibrada com agregado graúdo, acompanhado ou não de agregado miúdo e *filler* (cimento Portland, cal extinta ou pó calcário), à temperatura ambiente não deve ser inferior a 10 °C em dias não chuvosos. A dosagem dos elementos deve estar especificada no projeto de pavimentação, além da seleção adequada dos materiais, técnicas apropriadas de produção, transporte, armazenamento e aplicação da camada e posterior compactação. Para a produção do Pré-Misturado a Frio de ruptura média utiliza-se as emulsões dos tipos: RM-1C e RM-2C que são empregadas em PMF’s abertos, e o que diferencia as duas é simplesmente o grau de teor de asfalto. Já a emulsão RL-1C do tipo de ruptura lenta, é utilizada para a obtenção do Pré-misturado semi-densos e densos (DNIT 153/2010 - ES).

Os trabalhos só devem ser realizados quando as condições ambientais forem apropriadas, isto é, com temperatura ambiente acima de 10°C e tempo estável (ADEBA, 2001). O SICRO apresenta composições de custos de usinagem de Pré-misturado a frio considerando as diferentes formas de aquisição da brita (produzida e comercial) e da areia (extraída e comercial).

3.2 Custo das massas asfálticas

O custo das massas asfáltico é estimado em volume, devido aos levantamentos de patologias a serem corrigidas serem coletados os dados de área de preenchimento com a utilização de determinada massa a ser produzida.

A tabela SICRO não apresenta o valor estimado para o produto emulsão CAP com aditivo de borracha do tipo AB-8, com 15% de borracha, em virtude da restrição de regulação do preço de produtos derivados de Petróleo pela ANP. Deste modo, o respectivo valor do produto foi coletado da tabela de preço médio mensal ponderado praticado pelos distribuidores de produtos asfálticos da ANP de setembro de 2019, região de São Paulo, pois não é encontrado o produto listado para o estado de Goiás, e também por ser o mais próximo e com menor valor cotado.

A tabela 5 foi construída com os custos para a obtenção de 1 (uma) tonelada do concreto asfáltico com borracha, seguindo a dosagem dos produtos para a faixa C, e adotando o consumo de brita adquirida comercialmente.

Tabela 5 – Custo Unitário de Referência da usinagem de concreto asfáltico com borracha, faixa C e brita comercial.

Descrição	Quant.	Unid.	Custo unitário (R\$)
Equipamentos e mão-de-obra	1,00	t/h	R\$ 18,91
Brita 0	0,13	m ³	R\$ 69,09
Cal hidratada	56,60	kg	R\$ 0,39
Cimento asfáltico CAP 50/70 com 15% de asfalto borracha	0,06	t	R\$ 2,95
Óleo combustível 1A	14,00	l	R\$ 42,00
Pedrisco	0,14	m ³	R\$ 68,37
Pó de pedra	0,33	m ³	R\$ 47,95
Custo unitário direto total:			R\$ 249,66

Fonte: DNIT, (2019)

A tabela 6 contém os custos para a obtenção de uma tonelada do concreto asfáltico do tipo PMF, também seguindo a dosagem dos produtos para a faixa C, e a adoção da brita comercial. Conforme explanado anteriormente, foi adotada a emulsão asfáltica de ruptura média RM-1C, devido ser esta a empregada para obtenção do Pré-misturado aberto, que terá resistência basicamente provida pelo esforço de compactação, devido ao atrito interno entre os agregados. Nesta mistura, o ligante é capaz de promover uma coesão mínima entre os grãos, especialmente aqueles indicados como camadas de base ou de regularização para um pavimento existente e remendos de painéis de vias urbanas (BERNUCCI et al., 2010).

Tabela 6 – Custo Unitário de Referência da usinagem de 1 m³ de concreto asfáltico PMF, faixa C e areia e brita comerciais.

Descrição	Quant.	Unid.	Custo unitário (R\$)
Equipamentos e mão-de-obra	1,00	t/h	R\$ 13,32
Brita 0	0,66	m ³	R\$ 69,09
Cal hidratada	87,62	kg	R\$ 0,39
Emulsão asfáltica RM-1C	0,18	t	R\$ 2,40
Pedrisco	0,37	m ³	R\$ 68,37
Custo unitário direto total:			R\$ 153,57

Fonte: DNIT, (2019)

Logo foi necessária a transformação do valor obtido, transformando-o em custo por tonelada, adotado o índice de densidade de transformação em 1,56, resultando em: R\$ 239,72. De acordo com os dados dos métodos de confecção da massa asfáltica com aditivo de borracha da tabela 5, e usinagem do PMF da tabela 6, pode-se observar que o concreto asfáltico com aditivo de borracha apresenta valores de usinagem relativamente mais elevados. Este aumento no valor do revestimento está relacionado a aquisição da emulsão asfáltica inclusa a adição da borracha, além de fatores como a usinagem a quente.

A tabela 7 apresenta o orçamento dos insumos onde é possível identificar os itens que compõem o PMF.

Tabela 7 – Custo unitário de concreto asfáltico PMF para Prefeitura municipal de Ceres.

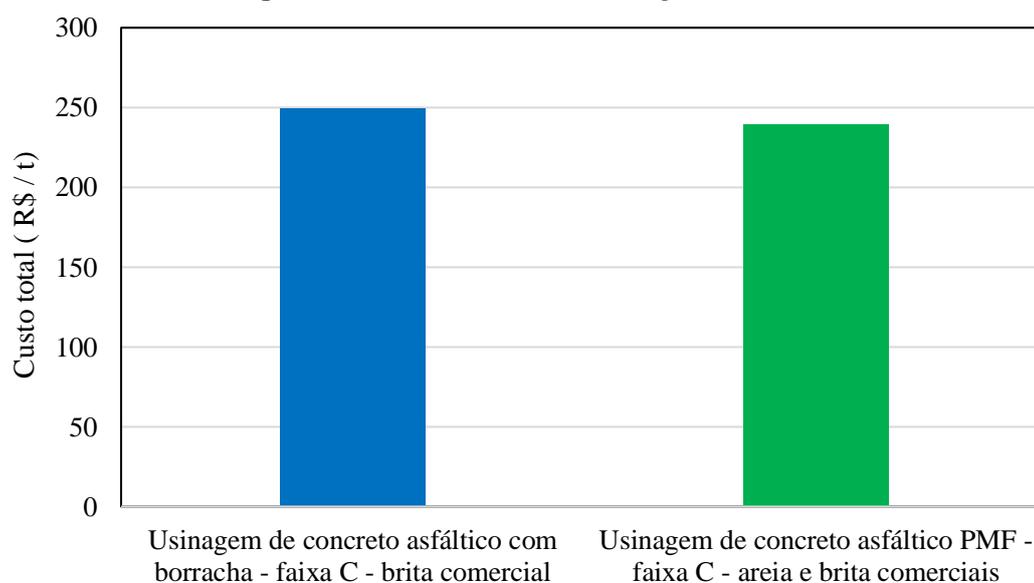
Item	Und.	Descrição	Quant.	Preço unit.	Preço total
1	m ³	Areia - comercial (ac)	0,07	111,002	R\$ 8,00
2	m ³	Pedrisco - brita 0 (bc)	0,60	123,082	R\$ 74,85
3	m ³	Brita pó de pedra (bc)	0,06	104,112	R\$ 6,31
4	t	Fornecimento de emulsão RM-1C ¹	0,1	3547,33	R\$ 354,73
5	t	Fornecimento de emulsão RR-2C ¹	0,1	3172,23	R\$ 317,22
				Valor total	R\$ 761,11

Fonte: Adaptado de AGETOP março/2018 - desonerada (t135) e ANP - novembro/2019

A emulsão RR-2C apresentada na tabela 7 está relacionada a particularidade da escolha como material impermeabilizante ou de imprimação para a preparação do local de aplicação do PMF em si. Esta emulsão carece da necessidade de cuidados especiais com a camada inferior ao PMF, a qual deverá estar bem selada (ou mesmo ser fechada) para impedir a infiltração de água para camadas subjacentes (BERNUCCI et al., 2010). Na aquisição dos materiais para confecção do PMF pela Prefeitura Municipal de Ceres, constatou-se que o custo para obtenção é o mais elevado entre os comparados, isto se deve à aproximação com os valores reais de aquisição, visto que é um processo recente e que também agrega valores atuais de transporte e a inclusão do material impermeabilizante RR-2C.

A Figura 1 demonstra os custos de maneira simplificada, o que facilita a interpretação dos valores apresentados nas tabelas anteriores, a fim de comparação genérica em relação ao custo final de obtenção de cada produto estudado.

Figura 1 – Custo da massa asfáltica para 1 tonelada



Fonte: Próprio autor, (2019)

¹ Observações: Os valores dos itens referentes a "Fornecimento de emulsão RM-1C" E " Fornecimento de emulsão RR-2C", foram coletados na ANP SETEMBRO/2019 por Estado (Goiás) e acrescidos de ICMS. Todos os itens que compõem este orçamento, já estão inclusos valores de transporte (frete).

Apesar de constatar o elevado custo do Concreto asfáltico com borracha em relação ao PMF convencional, alguns estudos afirmam que os custos de manutenção por metro quadrado de implantação do produto se mostram inferiores (SANCHES et al., 2012).

3.3 Aplicação da massa asfáltica para correção de patologias

O desgaste natural dos pavimentos, aliado da má execução do processo de confecção da pavimentação, onde, não se observa os parâmetros de construção, não acompanhamento de análise dos materiais empregados, grau de compactação, teor de umidade, densidade e resistência do solo, são alguns dos fatores que favorecem o surgimento de patologias inerentes aos pavimentos. Entre os principais fatores que originam as patologias dos pavimentos pode-se destacar a ação dos intempéries, como a de águas da chuva, que ao penetrar as camadas dos pavimentos contribui para o aparecimento de diversos defeitos apresentados nos pavimentos flexíveis, entre eles os buracos, panelas, afundamento e erosões (MEDINA, 1997).

A NORMA DNIT 005/2003 – TER (Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia) descreve e classifica as patologias apresentadas em pavimentos flexíveis em: Fendas do tipo fissura ou trinca; afundamentos plásticos ou de consolidação; ondulação; escorregamento; exsudação; desgaste e buraco ou panela. A partir destes problemas dos pavimentos, pode-se destacar as principais patologias que possam receber o concreto asfáltico com borracha e o PMF como forma de correção e/ou a prevenção de futuras patologias mais graves.

A trinca (Figuras 2A e 2B) é uma abertura que surge no revestimento, facilmente visível, com espessura superior à da fissura, pode apresentar em uma única estrutura, como trinca isolada ou trinca interligada. É ocasionada pelos fenômenos de retração térmica do material da base rígida ou semirrígida, agregados, ou das camadas subjacentes ao revestimento trincado. Não é ocasionada pelos fenômenos de fadiga. As trincas interligadas podem exibir erosão acentuada nas bordas, e quando não reparadas, são predecessoras do buraco ou panela.

O buraco ou panela (Figura 2c) é uma depressão que surge no pavimento, onde há possibilidade de afetar a estrutura da base, podendo provocar a desprendimento dessas camadas, causando erosão de pequeno porte no pavimento.

Figura 2 – Trinca interligada (a), trinca solada (b) e panela ou buraco (c)



Fonte: Adaptado de DNIT, (2003)

Para a correção da patologia do tipo panela, procede-se a aplicação do remendo, que é o preenchimento de um buraco/panela com uma ou mais camadas de material asfáltico, na operação conhecido como “tapa-buraco”. O remendo profundo apresenta um recorte retangular na dimensão da patologia, neste remendo há a substituição do revestimento e ocasionalmente, alguma estrutura da composição da base. Já o remendo superficial, a correção na superfície do revestimento é realizada pela aplicação de uma camada fina de material betuminoso (DNIT, 2008).

Na aplicação do PMF em correções de pavimentos, as camadas podem variar entre 30 a 70 mm de espessura quando já compactada, de acordo com cada traço. O material deve ser espalhado e compactadas à temperatura ambiente em dias não chuvoso. Uma desvantagem das misturas a frio com emulsões asfálticas é o desenvolvimento de resistência ao longo do tempo de forma lenta, fenômeno provocado pela perda gradual da umidade da mistura. A estabilidade não é alcançada até que a água da mistura tenha evaporado por completo. Quanto à resistência mecânica, após a execução utilizando PMF, não apresentará idênticos padrões mecânicos iniciais de um concreto asfáltico.

Deste modo, tem-se a conclusão que PMF é indicado para a correção das patologias do tipo “panela” ou buraco, pois o produto necessita de aplicação e compactação, por ser classificado como mistura aberta, deve-se eliminar o suficiente o volume de vazios, procedimento o qual necessita de um relativo espaço a ser preenchido pela mistura.

As principais formas de aplicação do ligante asfalto-borracha são: Selante de trincas e juntas (*Asphalt-rubber Crack/joint Sealant*), onde observa-se que o selante com asfalto-borracha permanece cerca de 3 vezes mais que o sem asfalto-borracha, confrontando a vida útil dos selantes com e sem asfalto-borracha; SAM (*Stress Absorbing Membrane*), o qual trata-se de um “tratamento superficial” com asfalto-borracha, geralmente usado para prevenir e/ou retardar a formação de trincas por reflexão em pavimentos asfálticos. Consiste em distribuir uma camada de ligante asfalto-borracha (com cerca de 20% de borracha) sobre a plano do pavimento existente, posteriormente distribuído os agregados uniformes, espalhados sobre o ligante; SAMI (*Stress Absorbing Membrane Interlayer*), caracterizado como uma camada de asfalto-borracha aplicada entre camadas de CAUQ (reforço e nas já existentes) no processo de execução de reabilitação asfáltica, a fim de retardar o desenvolvimento de trincas por reflexão e reduzir a penetração de água em camadas subjacentes (EMERY, 1995; ODA & FERNANDES, 2001).

Ainda que a produção da massa asfáltica com aditivo de borracha, ocorra em um processo determinado em usina à quente, visto a necessidade da reação química entre os agregados e emulsões asfálticas, a fim de obter uma mistura homogênea e eficaz, o processo de aplicação destas misturas pode ocorrer a temperatura ambiente, assim como corre no tipo de produto “*gap graded*”. Para a correção das patologias das vias urbanas da cidade de Ceres – GO foi utilizado o produto comercial denominado “ECO INSTANT-PAV” apresentado na Figura 3. Este material é do tipo “gradação com intervalo descontínuo denso”, que é uma faixa granulométrica especial que resulta em macro textura superficial aberta ou rugosa, mas não tem teor de vazios elevado e é produzido com concreto asfáltico usinado a quente para aplicação a frio, a base de CAP 50/70, não emulsionado, é um asfalto ecológico com borracha reciclada de pneu, e é entregue pronto para uso.

Figura 3 – Ilustração da massa asfáltica com aditivo de borracha “*gap graded*”

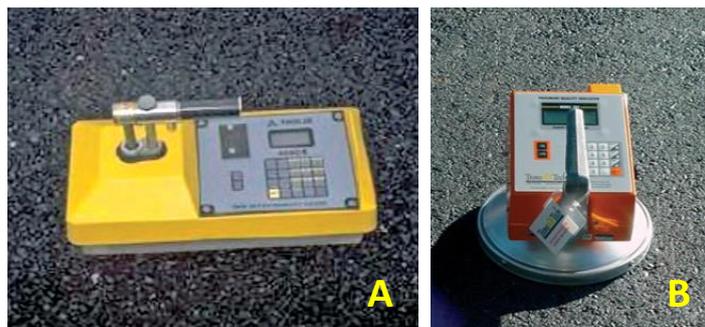


Fonte: Adaptado de CB-PAV, (2019)

Esta massa asfáltica é aplicada com prévia varredura para eliminação de pó sem nenhuma operação especial, não precisando ser aquecido ou misturado, além de dispensar qualquer tipo de compactação. Isso implica em uma redução substancial nos custos de mão-de-obra e equipamentos, pois pode ser aplicado por uma só pessoa com uma simples, além de trazer benefícios sociais, pois vai utilizar a borracha na mistura e não está simplesmente se livrando de um rejeito inservível, mas realmente melhorando o desempenho e vida útil do asfalto. Acondicionado em saco de papel *kraft*, de 25 kg ou 40 kg. O rendimento é de 60Kg/m² baseando-se numa espessura de capa entre 3 e 5 cm. (CB-PAV, 2019).

A compactação de uma camada asfáltica de revestimento aumenta a estabilidade da mistura asfáltica, reduz seu índice de vazios, proporciona uma superfície suave e desempenada e aumenta sua vida útil. Usualmente essas espessuras em uma única camada de compactação não ultrapassam 75 a 80mm. Cada mistura asfáltica tem uma faixa de temperatura de compactação própria, relacionada ao tipo de ligante asfáltico utilizado. A verificação se a compactação foi executada de forma apropriada é feita utilizando-se dois ensaios que determinam o grau de compactação (razão entre a massa específica aparente da mistura compactada e a massa específica aparente de projeto) e verificam a homogeneidade e a suavidade da superfície da camada compactada. A massa específica pode ser determinada de duas maneiras: pela remoção de corpos-de-prova da camada compactada e respectivas análises em laboratório, ou pela utilização de densímetros com fontes radioativas ou eletromagnéticas conforme exemplos da figura 4, que são posicionados sobre a superfície da camada, fornecendo em poucos segundos e automaticamente a densidade, que corresponde numericamente à massa específica da mistura asfáltica no local de posicionamento do equipamento (BERNUCCI et al., 2010).

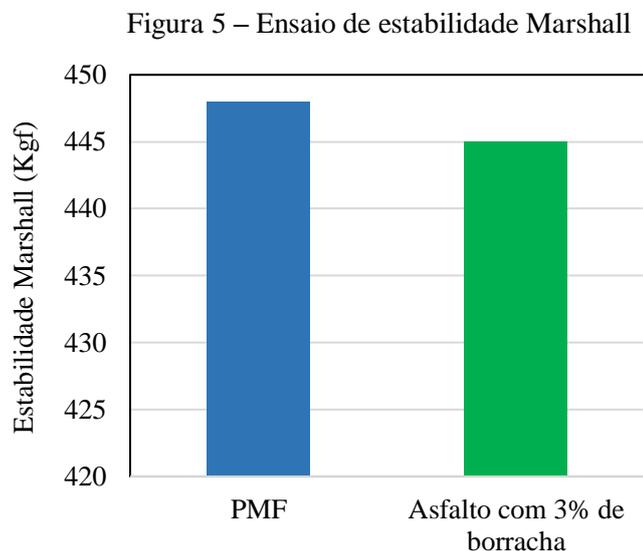
Figura 4 – Densímetros com fonte radioativa (a) e densímetro eletromagnético (b) para determinação da massa específica *in situ*.



Fonte: Adaptado de BERNUCCI, (2012)

3.4 Resistência mecânica dos pavimentos

O gráfico da Figura 5 foi obtido a partir de ensaios mecânicos realizado por Silva (2008) para a massa asfáltica com e sem borracha. A partir da seleção desse estudo buscou-se comparar às resistências mecânicas finais da massa asfáltica com borracha em relação PMF convencional.



Fonte: Adaptado de SILVA, (2008)

Expressa em Kgf, a estabilidade Marshall pode ser definida como a resistência à compressão máxima radial do corpo-de-prova moldado e ensaiado de acordo com o processo estabelecido neste método. Comparando os ensaios das misturas asfálticas concluiu-se que o traço com apenas 3 % de adição de borracha moída apresentou: o menor índice de vazios, a menor fluência e a maior estabilidade Marshall. Além disso, para este traço também foi registrado a maior densidade aparente, a maior relação betume-vazios e o menor teor de emulsão asfáltica, permanecendo assim acima do especificado na norma do DNER 107 de 1994 (SILVA, 2008). Apesar disso, uma das principais desvantagens do uso de misturas a frio com emulsões asfálticas está relacionado ao lento desenvolvimento de resistência mecânica do pavimento, uma vez que este fenômeno é controlado pela perda de umidade da mistura.

Em um estudo realizado por Huang et al. (2002), foi investigado os processos via seca e via úmida, onde, se avaliou a estabilidade e fluência Marshall, ensaios de Resistência a Tração (RT) e Módulo de Resiliência (MR) bem como o desempenho em campo para misturas asfálticas a quente. De acordo com a classificação do PMF, as misturas com borracha em sua composição (que possui de 22 a 30 % de vazios) apresentaram valores de fluência maiores que os das misturas sem borracha, enquanto que as misturas densas (que possui de 5 a 15 % de vazios) obtiveram resultados semelhantes. Os resultados indicaram que todos os trechos com borracha, apresentaram maiores deformações que o PMF convencional, indicando maior resistência ao fissuramento. Além disso, os trechos recuperados construídos com massa asfáltica de borracha apresentaram desempenho maior quanto ao afundamento de trilha de rodas (ATR) e Índice de Irregularidade (IRI) que os trechos correspondentes de PMF mesmo após cinco a sete anos de tráfego.

4 CONCLUSÕES

O uso de Pré-misturados a frio, é amplamente utilizado no Brasil, em virtude da necessidade de utilização de equipamentos simples, confecção em temperatura ambiente, fácil aplicação e ainda contribui para economia de energia ou redução de gases, já que é preparado sem a necessidade de aquecer o material e assim evita a emissão de gases. Visando atender a demanda ambiental atualmente, o asfalto-borracha surgiu como uma alternativa interessante visto que este pavimento pode receber até mil pneus inservíveis por quilometro quadrado em sua composição. De acordo com os dados dos métodos de confecção da massa asfáltica com aditivo de borracha e usinagem do PMF, pode-se observar que o concreto asfáltico com aditivo de borracha apresenta valores de usinagem relativamente mais elevados. Na aquisição dos materiais para confecção do PMF pela Prefeitura Municipal de Ceres, constatou-se que o custo para obtenção é o mais elevado entre os comparados, isto se deve à aproximação com os valores reais de aquisição, visto que é um processo recente e que também agrega valores atuais de transporte e a inclusão do material impermeabilizante RR-2C.

De acordo com a correção de patologias das vias pavimentadas, a massa asfáltica com borracha foi indicada principalmente para a correção de “panela” ou buraco, pois o produto necessita de aplicação e compactação. Por ser classificado como mistura aberta, a eliminação suficiente o volume de vazios torna-se necessária, procedimento o qual necessita de um relativo espaço a ser preenchido pela mistura. Segundo estudos realizados anteriormente pode se concluir que as patologias recuperadas com massa asfáltica de borracha apresentaram desempenho maior quanto ao afundamento de trilha de rodas (ATR) e Índice de Irregularidade (IRI) que os mesmos trechos de vias correspondentes onde se empregou o PMF convencional.

Em comparação ao uso de massa asfáltica a frio, a massa asfáltica com aditivo de borracha acrescenta elevado valor de preparação ou aquisição, contudo seu fator de durabilidade aliado ao baixo custo de manutenção preventiva amplia sua vantagem em relação ao custo-benefício. Além disso, o asfalto-borracha oferece uma compensação ambiental em diversos fatores, como a redução de descarte de pneus, afirmando assim que é viável o incentivo a adoção deste material nos pavimentos, a fim de melhorar os aspectos técnicos de qualidade e oferecer uma compensação ambiental para a sociedade.

REFERÊNCIAS

- ANP, Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. **Preço médio mensal ponderado praticado pelos distribuidores de produtos asfálticos (r\$/kg)**. . Rio de Janeiro: abril, 2019.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica - Formação básica para engenheiros**. Abeda. Rio de Janeiro, 2010.
- CB-PAV, Indústria e Comércio Eireli (EPP). **ECO INSTANT-PAV**. . [S.l: s.n.]. , 2019
- CLERMAN, Danielle de Souza. **Estudo laboratorial de misturas asfálticas a frio produzidas com incorporação de borracha de pneus**. 2004. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BR-RS, 2004.
- CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** . Brasília: [s.n.]. Disponível em: <[http://cms.cnt.org.br/Imagens CNT/PDFs CNT/Estudos CNT/estudo_pavimentos_ao_duram.pdf](http://cms.cnt.org.br/Imagens/CNT/PDFs/CNT/Estudos/CNT/estudo_pavimentos_ao_duram.pdf)> , 2017. Acessado em 17/10/2019.
- CONAMA, Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução Nº 416. DOU Nº 188, de 01/10/2009, págs. 64-65**. [S.l] , 2009
- DNIT. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia - DNIT. **Norma Dnit 005/2003 - Ter**, p. 12, 2003. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/terminologia-ter/dnit005_2003_ter.pdf>. Acessado em 17/10/2019.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes Terrestre. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2008, Rio de Janeiro, 2008.
- SICRO, **Sistema de Custos Referenciais de Obras**. . Brasília: [s.n.], 2019.
- EMERY, John. **Recycled Tire Rubber and Other Waste Materials in Asphalt Mixtures**. [S.l: s.n.], 1995.
- FELIPE G SANCHES; GRANDINI, Fernando H. B.; ORLEI B. JUNIOR. **No Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com Utilização do Asfalto-Borracha em Relação ao Asfalto Convencional**. . Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. , 2012
- GIULIO, Gabriela Di. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto**. Inovação Uniemp, p. 7, 2007.
- MEDINA, Jacques de; Laura Maria Goretti da Motta. **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1997.
- SALINI, Reus; MARCON, Antônio Fortunato. **Utilização de Borracha Reciclada de Pneus em Misturas Asfálticas**. 1998, Florianópolis: Terceiro Encontro Ibero-Americano de Unidades Ambientais do Setor Transportes, 1998.
- SANTANA, Humberto. **Manual de pré-misturados a frio**. Rio de Janeiro, 1993.

SILVA, Simone Cristina Caldato da. **Ensaio comparativos de mistura asfáltica pré-misturado a frio com adição de borracha de pneu.** . Bauru, 2008.

ZAGONEL, Ana Regina. **Inovações em revestimentos asfálticos utilizados no Brasil.** 2008. 89 f. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2008.