



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL

RODOLFO DE PAIVA COSTA

ESTUDO DOS REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS E OS IMPACTOS AMBIENTAIS
ORIUNDOS DE SUA FABRICAÇÃO E UTILIZAÇÃO

UBÁ/MG

2017

RODOLFO DE PAIVA COSTA

**ESTUDO DOS REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS E OS IMPACTOS AMBIENTAIS
ORIUNDOS DE SUA FABRICAÇÃO E UTILIZAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Msc. Israel Iasbik

UBÁ/MG

2017

Resumo

O trabalho tem como objetivo apresentar o estudo dos revestimentos asfálticos, todas as suas composições, o modo de aplicação e sua produção em usinas com foco no CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), PMF (Pré-misturado a Frio) e o Asfalto-Borracha mais utilizados no Brasil e apresentar, também os seus impactos ambientais gerados tanto na sua fabricação quanto na sua utilização. Tanto o CBUQ quanto o Asfalto-Borracha são produtos resultantes da mistura a quente do ligante asfáltico com agregados minerais, tendo como principal diferença o fato de que ao Asfalto-Borracha é adicionado o pó de borracha em sua composição. Apresenta também a forma de produzir e aplicar de cada um, evidenciando suas características em relação ao conforto e segurança. Além disso apresenta o estudo dos conceitos básicos de pavimentação, envolvendo suas composições em termos de camadas inferiores, os objetivos e funções de cada uma delas e a conclusão do estudo, que mostra que os revestimentos asfálticos são extremamente prejudiciais ao meio ambiente.

Palavras-chave: Revestimentos. CBUQ. PMF. Asfalto-Borracha. Impactos Ambientais.

Abstract

This work aims to present the study of asphalt coatings, all their compositions, the method of application and their production in focused on CBUQ (Hot Mix Asphalt Concrete - HMAC), PMF (Pre-mix Cold Asphalt) and Asphalt-Rubber most used in Brazil and also present their environmental impacts generated both in its manufacture and in its use. Both CBUQ and Rubber Asphalt are products resulting from the hot blending of the asphalt binder with mineral aggregates, having as main difference, the fact that to the asphalt-rubber is added rubber powder in its composition. It also presents the way of producing and applying of each one, showing its characteristics in relation to comfort and safety. In addition, it presents the study of the basic concepts of paving, involving its compositions in terms of lower layers, the objectives and functions of each one and the conclusion of the study, which shows the coatings as the stimulus to the environment.

Keywords: Coatings. CBUQ. PMF. Asphalt- rubber. Enviromental impact.

1 INTRODUÇÃO

O principal sistema de transporte de cargas e passageiros no Brasil são as rodovias. De acordo com os dados da Confederação Nacional de Transporte (CNT) em 2016, constatou-se em uma pesquisa sobre a qualidade dos pavimentos que, dos 103.259 km analisados, 58,2% apresentam algum tipo de problema em estradas pavimentadas. Tendo em vista uma ampla malha rodoviária, muitas delas não pavimentadas e com grandes problemas recorrentes na qualidade dos revestimentos, seja pela falta de execução correta ou na escolha inadequada dos materiais, justifica-se fazer um estudo mais aprofundado do tema.

Segundo Senço (2001), o CBUQ é definido como o produto resultante da mistura a quente de um ou mais agregados minerais e cimento asfáltico de petróleo, espalhado e comprimido a quente, sendo utilizado como camada de regularização ou como revestimento.

De acordo com o DNIT, o PMF é uma mistura executada a temperatura ambiente, em usina apropriada, composta de agregado mineral graduado, material de enchimento e emulsão asfáltica, espalhada e comprimida a frio. Já o Asfalto-Borracha é uma mistura a quente, composta pelos agregados graúdos, agregados miúdos, adição de pó de borracha de pneu reciclado e cimento asfáltico.

Neste trabalho são abordados aplicação, produção e os equipamentos utilizados na execução de cada revestimento, bem como uma introdução a todas as camadas de um pavimento, além do impacto ambiental gerado.

Para um bom desempenho dos revestimentos asfálticos, é necessária a escolha adequada de materiais e formulações de proporções que atendam aos condicionantes de uso do revestimento, bem como o uso de técnicas adequadas de produção, e a execução bem realizada em todas as camadas, sejam subleito, reforço do subleito, sub-base, base e o próprio asfalto.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo apresentar o estudo dos revestimentos asfálticos, todas as suas composições, o modo de aplicação e sua produção em usinas com foco no CBUQ, PMF e o Asfalto-Borracha e apresentar, também os seus impactos ambientais gerados tanto na sua fabricação quanto na sua utilização.

2 DESENVOLVIMENTO

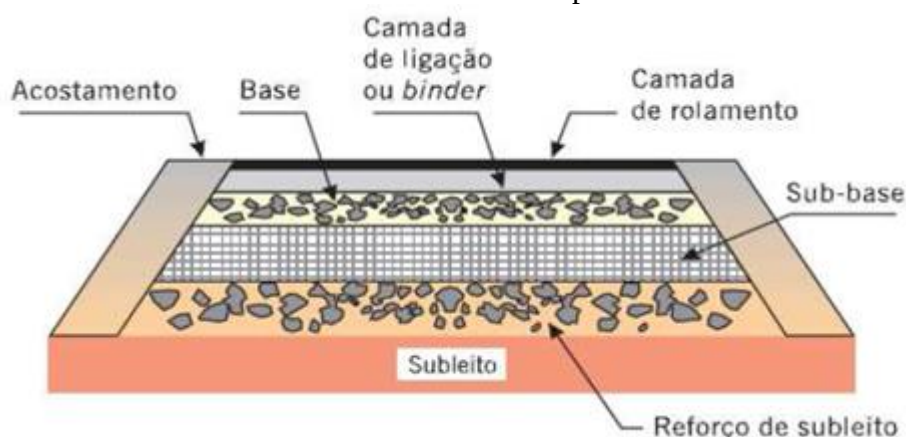
2.1 Pavimento

Segundo Senço (2001) o pavimento é a estrutura construída sobre a superfície do solo, onde se realiza uma terraplanagem. Tem como objetivo resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego, melhorar as condições da pista de rolamento quanto ao conforto e segurança dos que utilizarem, além resistir ao desgaste. Toda a estrutura do pavimento construído pode variar em espessura, de acordo com os materiais utilizados e também com a própria função que a via poderá exercer.

O pavimento é composto por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito, adequadas para atender estruturalmente e operacionalmente o tráfego, de forma durável e ao mínimo custo possível, considerando o serviço de manutenção e reabilitação obrigatórias (BALBO, 2007).

Segundo Motta (2011) a estrutura do pavimento é um sistema formado por várias partes, constituída de um conjunto que sofrerá deslocamentos e tensões como parte de resistir às cargas solicitantes pelos veículos e pelas condições climáticas do local, ou seja, como qualquer outra estrutura de construção civil, as cargas são distribuídas de forma compatível com a resistência de cada camada do pavimento.

FIGURA 1– Camada de um pavimento



Fonte: Proasfalto.com.br¹

¹Disponível em: http://www.proasfalto.com.br/pdf/asfalto_Capitulo_01_Mar2010.pdf. Acesso em 2 de out. 2016.

Segundo Balbo (2007) o pavimento rodoviário é composto pelas seguintes camadas: Revestimento: Também chamado de capa de rolamento ou, simplesmente, capa. É a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do tráfego e tem como objetivo melhorar a superfície de rolamento principalmente quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste, ou seja, aumentando a durabilidade da estrutura. Para vias simples, duas faixas de tráfego e duas mãos de direção com espessuras de 3 a 5 cm são habituais. Para autoestradas ou de maior tráfego, chega-se a revestimentos entre 7,5 e 10,0 cm.

Base: É a camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los em toda sua extensão. Na verdade, o pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito.

Sub-base: É a camada que complementa a base e usada quando não for aconselhável executá-la diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas (chuvas, solo úmido). Também pode ser usada para regularizar a espessura da base.

Subleito: É o terreno de fundação onde será apoiado todo o pavimento. Deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego.

Reforço do subleito: É a camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente, de acordo com o dimensionamento do pavimento, fazendo parte integrante deste e que durabilidade da estrutura. Por circunstâncias técnico econômicas, será executada sobre o subleito regularizado. Serve para melhorar as qualidades do subleito e regularizar a espessura da sub-base.

Segundo Senço (1997), de uma forma ampla e geral, os pavimentos são classificados em rígidos, semirrígidos e flexíveis. Os pavimentos rígidos são pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento e os revestimentos flexíveis ou asfálticos, são aqueles cujas deformações não levam ao rompimento.

Os pavimentos semirrígidos são caracterizados por uma base constituída por algum aglutinante com propriedades cimentícias e uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica. Os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento é muito mais rígido comparando às camadas inferiores, tendo a quase total absorção de todas as tensões causadas pelo carregamento aplicado. Usualmente é construído em lajes de concreto de cimento Portland (DNIT 2006, p. 95).

Para se obter um melhor desempenho em um pavimento, evitando defeitos como afundamentos e trincas, é necessário o dimensionamento de todas as camadas, bem como a contagem do tráfego a ser incluído em um projeto de pavimentação.

2.1.1 Revestimentos

O revestimento é a capa de rolamento, sendo a camada do pavimento que recebe a ação e todo o tráfego, devendo ser o mais impermeável possível. Tem como função melhorar a superfície de rolamento, o conforto e a segurança da estrada, além de possuir boa durabilidade. O revestimento é normalmente executado com uma espessura que varia de 2 a 5 cm, e nele devem ser utilizados os melhores materiais, pois é a camada com maior custo (SENÇO, 2001). Sendo a camada com o maior impacto financeiro em um pavimento, deve ser dimensionado com um estudo bem realizado do trecho, pois existem alguns esforços que atuam diretamente sobre essa camada, tais como a pressão de impacto, os esforços longitudinais (rolamento e frenagem dos veículos), transversais (curvas) e de sucção (SENÇO, 2001).

O revestimento é a camada superior, destinada a proteger as camadas inferiores da deterioração, causada, principalmente, pela ação do tráfego e pela variação climática. Sendo assim, tem como função melhorar a comodidade e a segurança de rolamento e fazer com que tenha maior durabilidade (BALBO, 2007).

Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais de vários tamanhos, podendo também variar quanto à fonte, e ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada (teor de asfalto e granulometria) e processada (produção), garanta ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previsto para o local (BERNUCCI, 2008).

Quando todos os esforços agem ao mesmo tempo, devido às cargas estáticas e dinâmicas, é gerado um resultado que exige a capacidade máxima de suporte do revestimento (SENÇO, 2001).

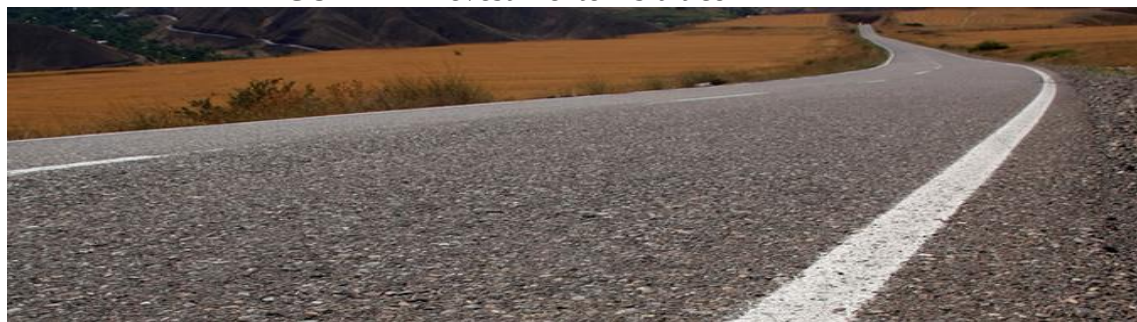
O revestimento ainda tem a função de receber as cargas estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações ou desagregação dos seus componentes estruturais ou a perda de sua compactação. Por isso, necessita ser composto de materiais bem aglutinados, sendo eles os tratamentos superficiais betuminosos e as misturas asfálticas em geral (BALBO, 2007).

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), o objetivo maior do revestimento é atender adequadamente às suas funções básicas. Por esse motivo, ele deve ser projetado, construído e conservado de forma a apresentar invariavelmente, níveis de serventia compatíveis e homogêneos em toda a sua extensão, os quais são normalmente avaliados através da apreciação de três características gerais de desempenho: a segurança, o conforto e a economia.

De acordo com Senço (1997), a camada de revestimento apresenta espessura variada, de acordo com funções de critérios próprios ou em função do tráfego previsto. Para as vias simples são utilizadas espessuras habituais de até 5 cm; já para autoestradas, chega-se à espessura de 10 cm.

2.1.1.1 Revestimentos Asfálticos

FIGURA 2 - Revestimento Asfáltico



Fonte: Aecweb.com.br²

O revestimento asfáltico consiste de mistura de material betuminoso e agregado. Suas principais funções são as de impermeabilizar a base contra a penetração das águas da superfície, protegê-la do desgaste ocasionado pelo tráfego e distribuir as cargas. A constituição do revestimento é, em geral, 90% a 95% de agregados e 5% a 10% de material betuminoso (GRECO, 2010).

A escolha do tipo de revestimento é uma questão de custo e técnica na execução. Alguns fatores influenciam na escolha, baseando-se na técnica ou mesmo nos custos. Nos serviços de nível de exigência elevado, o revestimento ultimamente mais utilizado é o concreto betuminoso. Já nos de nível de exigência menos elevado, o mais utilizado é o PMF. Os fatores além do custo são as características físicas, tais como cor, aparência geral,

² Aecweb. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/como-escolher-o-tipo-de-pavimentacao-de-vias-publicas-_8968_10_0>. Acesso em 21 de nov. 2016.

considerações locais especiais, materiais locais, tipos existentes e organização de conservação (SENÇO, 2001).

O asfalto é um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem. O uso em pavimentação é um dos mais importantes e na maioria dos países, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. Há várias razões para o uso intensivo do asfalto em pavimentação, sendo as principais, o fato de proporcionar forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante; é durável e resiste à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos (BERNUCCI, 2008).

2.1.1.1.1 CBUQ

O concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), atualmente é o mais empregado em obras de pavimentação no Brasil. Sua composição básica é uma mistura convenientemente proporcionada de vários tipos de agregados, aglutinando-os com o cimento asfáltico de petróleo (CAP). Todos são aquecidos em temperaturas predeterminadas de acordo com sua utilização (BALBO, 2007). Origina-se da mistura a quente de agregados minerais junto ao cimento asfáltico derivado do petróleo. Na sua aplicação ele é distribuído e compactado a quente (SENÇO, 2001).

Segundo Balbo (2007), as misturas asfálticas a quente, podem ser utilizadas em pavimento de qualquer volume de tráfego, desde trechos com grande intensidade, até em trechos com pouco tráfego.

De acordo com Senço (1997), de todos os revestimentos flexíveis, o CBUQ é considerado um dos mais nobres, ou seja, com maior valor agregado. A mistura do agregado com o cimento asfáltico é elaborada em uma usina fixa ou móvel, sendo importante a preocupação com o controle granulométrico, a quantidade de betume, a temperatura tanto do agregado quanto do material asfáltico. Outro fator importante é o transporte, devendo ser realizado de maneira a não prejudicar a temperatura do CBUQ ao final de sua produção. Em razão de sua qualidade, o concreto betuminoso tem sido preferido na construção de grandes empreendimentos, como autoestradas e vias de grande tráfego. Apesar de ser um revestimento flexível, o CBUQ depende da qualidade de equipamentos, tanto na usinagem quanto na aplicação. Suas principais vantagens são adesividade, extrema impermeabilidade, durabilidade e com custo interessante em relação aos seus benefícios (SENÇO, 2001).

Ainda de acordo com Senço (2001), o concreto betuminoso gera um composto extremo de grande densidade. Preparado em usinas fixas que aquecem o material betuminoso e os agregados, sai para transporte normalmente carregado em caminhões, em alta temperatura, sendo todo o material transportado até o local de pavimentação. Deve-se ter cuidado para que a temperatura da mistura não diminua bruscamente, pois sua compactação deve ser realizada a alta temperatura.

O CBUQ é uma homogeneização da mistura dos agregados com o cimento asfáltico, sendo fabricado em uma usina misturadora. Ambos devem estar secos, ou seja, sem umidade, sendo sua secagem realizada dentro de um cilindro de aquecimento. Após a fabricação, sua temperatura não pode ser menor do que 140 graus, aproximadamente, até chegar ao local de pavimentação (BALBO, 2007).

O CAP é constituído por elevada quantidade de betume, bastante viscoso, com função de aglutinar. Os materiais asfálticos são: resistentes, impermeáveis e flexíveis (BALBO, 2007).

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) é composto essencialmente por hidrocarbonetos: parafínicos, naftênicos, aromáticos. Quanto mais saturados, menor a viscosidade do asfalto, quanto mais aromáticos, melhores as propriedades físicas. Em função de temperaturas excessivas, quanto mais calor, maior oxidação é sofrida, tornando o material mais viscoso e quebradiço. Mais frio, terá maior retração térmica, resultando na fissuração dos ligantes (BALBO, 2007 p. 113).

Realizada a visita técnica na empresa Jofer Empreiteira LTDA, com sede em Muriaé, MG, ficou constatado que se constitui de uma usina de pequeno/médio porte, mas que atende a todas as necessidades de produção diária. O produto em confecção da Jofer é exclusivamente o CBUQ. A empresa atende toda a região da Zona da Mata, sendo umas das poucas usinas de toda a microrregião.

O processo de usinagem do CBUQ inicia-se no transporte dos agregados. No caso da empresa citada, utilizam o pó de pedra, a brita zero e, em menores proporções, a brita ¾, para os silos de agregados³, em temperatura ambiente. Em seguida, caem nas esteiras de transportes dos agregados, que seguem para o secador.

No processo de produção, na área de usinagem estão disponíveis estoques de insumos básicos para a fabricação do concreto asfáltico, incluindo tanques com

³ Devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador, e dividida em compartimentos com dispositivos adequados de descarga. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/artigo260588-4.aspx>>. Acesso em 21 de nov. 2016.

aquecedores para o CAP, áreas de estocagem de agregados e silos de filer (Cal ou cimento), bem como da usina misturadora (BALBO, 2007. p. 177).

Na etapa intermediária do processo de produção, o Silo de Agregado Quente⁴ libera o CAP a 180 °C, junto aos agregados, sendo a mistura lançada por uma hélice até um compartimento do material produzido.

Por fim, são despejados em um caminhão para o transporte do asfalto até o local de pavimentação. Outro equipamento importante na produção do CBUQ é o exaustor de resíduos, que aspira todos os resíduos gerados tanto pelos agregados quanto pelo CAP (odor, liberação de gases tóxicos).

Importante ressaltar que o traço do CBUQ na Jofer Empreiteira é definido de acordo com cada projeto. Todo o processo de usinagem é controlado eletronicamente, tendo apenas as proporções determinadas pelo controlador. Em vias que possuem maior intensidade de tráfego, a proporção de brita $\frac{3}{4}$ é maior se comparada à usada em vias com menor tráfego. Para cada 1 metro cúbico de asfalto produzido, utilizam-se cerca de 100 litros de CAP, segundo a Jofer. A produção nessa usina é baixa se comparada a empreiteiras com abrangência nacional. Por dia, chega-se a produzir no máximo 20 metros cúbicos de CBUQ.

Uma compreensão básica da relação massa-volume de misturas asfálticas compactadas é importante tanto do ponto de vista de um projeto de mistura quanto do ponto de vista da construção em campo. É importante compreender que o projeto de mistura é um processo volumétrico cujo propósito é determinar o volume de asfalto e agregado requerido para produzir uma mistura com as propriedades projetadas. Entretanto, medidas do volume de agregados e asfalto no laboratório ou em campo são muito difíceis. Sendo assim, muitos empreiteiros padronizam as proporções de acordo com o projeto (BERNUCCI et al, 2008, p. 216).

Em visita à empresa Jofer Empreiteira, operadores que trabalham na empresa relataram que o concreto asfáltico a quente sai da usina em caminhões basculantes e estes transportam todo o material produzido até a estrada a ser pavimentada. A temperatura no momento de aplicação do material não deve ser inferior a 140° C.

Alguns fatores podem garantir que a temperatura no momento de execução do concreto asfáltico não seja inferior ao recomendado, como as condições do clima (se está chovendo), colocação de lona para a proteção do material na caçamba do caminhão, e a distância entre a usina e o local de execução. Caso não sejam seguidas as recomendações, o

Pavimentação Asfáltica BERNUCCI, 2008.

material pode sofrer influência na sua viscosidade, interferindo diretamente em sua compactação (BALBO, 2007).

A limpeza da estrada onde o asfalto será aplicado é importante, pois outros tipos de agregados espalhados pelo local podem prejudicar a operação. Após a limpeza, é realizada a pintura de ligação, com emulsão asfáltica de petróleo (EAP), que deve ser homogênea para que o concreto asfáltico tenha aderência com o solo (BALBO, 2007).

Segundo Bernucci (2008), uma emulsão asfáltica é definida como uma dispersão estável de dois ou mais líquidos imiscíveis, neste caso, água e asfalto. É composta de CAP, água, agente emulsificante (catalisador) e energia de dispersão da fase asfáltica na fase aquosa, como a energia mecânica por exemplo.

Segundo Balbo (2007), produz-se a EAP a partir do CAP, adicionando água e agente emulsificante. As emulsões asfálticas podem ser rápida, média e lenta.

A EAP é produzida por dispersão dos glóbulos de asfalto que saem do moinho e caem em uma solução de água já misturada com o agente emulsificante e com outros aditivos e adições particulares para obter efeitos diferenciados, tanto em relação ao tempo de separação das fases quanto ao uso final que se pretende para aquela emulsão específica (BERNUCCI et al 2008, p. 81).

Depois de realizada a aplicação da EAP, aplica-se o CBUQ com a vibroacabadora, compactando e nivelando a mistura asfáltica. O processo tem seguimento com o rolo pneumático e o rolo Tandem, ambos para compactar e nivelar perfeitamente o asfalto. Existem no mercado tanto equipamentos supermodernos, quanto mais simples, com menor custo (BALBO, 2007).

A figura 3 mostra esquematicamente o processo de aplicação do CBUQ.

FIGURA 3 – Sequência da aplicação do CBUQ



Fonte: INFRAESTRUTURA URBANA⁵

A compactação do asfalto é uma das mais importantes etapas da aplicação do revestimento, devendo-se evitar movimentos bruscos com o rolo, além de ter que manter a velocidade da máquina o mais constante possível, evitando, portanto depressões e defeitos no acabamento do revestimento.

2.1.1.1.2 PMF

O pré-misturado a frio é uma combinação de agregados com materiais asfálticos com pouca viscosidade à temperatura ambiente, sendo necessário um misturador (*Pug-mill*), sem que haja um aquecimento tanto dos agregados quanto da emulsão asfáltica. As misturadoras podem ser de grande ou pequeno porte, desde que os agregados sejam aglutinados ao ligante asfáltico (BALBO, 2007).

Os pré-misturados a frio (PMF) consistem em misturas usinadas de agregados graúdos, miúdos e de enchimento, misturados com emulsão asfáltica de petróleo (EAP) à temperatura ambiente. Dependendo do local da obra, podem ser usadas para misturar os PMFs: usinas de solo ou de brita graduada, usinas de concreto asfáltico sem ativar o sistema de aquecimento dos agregados, usinas de pequeno porte com misturadores tipo rosca sem fim, ou usinas horizontais dotadas de dosadores especiais. Para operações de manutenção de pavimentos em uso, pode-se até lançar mão de betoneiras comuns de preferência as de eixo horizontal (IBP, 1999). Há também facilidades de se operar a mistura em usinas móveis (BERNUCCI et al 2008, p. 183).

⁵ Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/6/3-capeamento-de-asfalto-227271-1.aspx>>. Acesso em 11 dez. 2016.

Um dos problemas mais comuns do PMF é o da coesão do ligante asfáltico com os agregados minerais que estão na mistura, devido a estar em temperatura ambiente, ela é reduzida se comparada ao CBUQ. Outro problema é em relação à ação da água, pois a mesma contribui para oxidação do PMF com o passar do tempo (BALBO, 2007).

Segundo se verifica em pavimentação asfáltica – formação básica para engenheiro

O PMF pode ser usado como revestimento de ruas e estradas de baixo volume de tráfego, ou ainda como camada intermediária (com CA superposto) e em operações de conservação e manutenção, podendo ser: denso – graduação contínua e bem-graduado, com baixo volume de vazios; aberto – graduação aberta, com elevado volume de vazios (BERNUCCI, 2008, p. 89).

A principal vantagem de misturas a frio dá-se, principalmente no uso de equipamentos mais simples, sem que haja muito investimento financeiro. Também possuem boa trabalhabilidade à temperatura ambiente, além de ter bastante adesividade com quase todos os tipos de agregados britados, sendo possível também a sua estocagem além da grande facilidade no transporte (BALBO, 2007).

As vantagens do uso de misturas a frio são muitas, entre elas, produção e execução à temperatura ambiente, reduzindo o consumo de combustíveis; alta trabalhabilidade devido ao estado fluido do ligante à temperatura ambiente; menor agressão, além de evitar o envelhecimento prematuro do asfalto por oxidação, o que pode ocorrer nas usinas em misturas a quente (SENÇO, 1997).

Segundo Balbo (2007), a elaboração do PMF pode ser feita com várias granulometrias de agregados, sendo com misturas mais abertas ou fechadas. Normalmente, utiliza-se o de agregados abertos, sendo necessárias, junto a ele, as emulsões de ruptura média.

Os PMFs podem ser usados em camada de 3 a 7 cm de espessura compactada, dependendo do tipo de serviço e da granulometria da mistura. Espessuras maiores devem ser compactadas em duas camadas. As camadas devem ser espalhadas e compactadas. O espalhamento pode ser feito com vibroacabadora ou até mesmo com motoniveladora, o que é conveniente para pavimentação urbana de ruas de pequeno tráfego. Também é possível estocar a mistura ou mesmo utilizá-la durante um dia inteiro de programação de serviços de conservação de vias (PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA, 2008, p 183).

Nota-se a necessidade de cuidados especiais, sendo que a camada inferior deve estar bem selada para que possa evitar a descida da água para outras camadas do pavimento. Em coesão de misturas abertas, o PMF terá resistência de acordo com a compactação, fazendo uma coesão entre os ligantes e os grãos. O PMF tem utilização muito comum em serviços de manutenção em vias urbanas e até mesmo em rodovias. O PMF não terá as mesmas

propriedades mecânicas se comparado a um concreto asfáltico. Mas, seu ganho de resistência mecânica se dá ao longo do tempo (BALBO, 2007).

Atualmente, existem vários tipos de usinas exclusivamente para a fabricação do PMF, como por exemplo, o Pug-mill (FIG. 4), que utiliza uma misturadora de agregados e um silo de emulsão asfáltico.

Para produzir o PMF, basicamente, deve-se proporcionar a quantidade de agregados minerais com o EA. Essa mistura é realizada pela usina à temperatura ambiente.

FIGURA 4 – *Pug-mill*



Fonte: Romanelli.com.br⁶

As misturas dos agregados com emulsões asfálticas são realizadas em usinas que podem ser estacionárias ou móveis, com capacidade de produção de 30tf/h a 600tf/h. Essas usinas são mais simples por não terem necessidade de aquecimento nem do agregado, nem do ligante (BERNUCCI et al 2008 p.384).

Durante a visita técnica realizada na empresa Costa e Silva LTDA-ME, na cidade de Cataguases, MG, foi observado que é utilizado para a confecção do PMF um modelo de usina muito simples, porém atende perfeitamente às necessidades da empresa. Ela apenas produz o PMF, por questão de investimento e compra o CBUQ para obras de pavimentação em vários locais da região.

A execução do PMF utiliza basicamente, o mesmo processo do CBUQ. O primeiro passo é transportar, utilizando-se de caminhões basculantes, o asfalto à temperatura ambiente para o local de aplicação. Depois, realiza-se o espalhamento do PMF, durante o qual deve ser evitado o uso de motoniveladoras, já que as vibroacabadoras são mais indicadas para este fim e ajudam a evitar a segregação do material (BALBO, 2007).

⁶Romanelli. Disponível em: <<http://www.romanelli.com.br/pt/equipamento/usina-de-base-e-solo/ubr-100>>. Acesso em 21 de nov. 2016.

Por fim, é feita a compactação, e nela utilizam-se os rolos Tandem e pneumáticos, ambos compactadores mecânicos. Contudo, o PMF exige mais passadas em relação ao CBUQ, o que é importante para a perfeita coesão dos agregados e para a qualidade final do revestimento.

Na etapa de compactação, os rolos compressores deverão ser umedecidos em sua superfície de contato com a massa asfáltica, evitando-se aderência aos mesmos. Preferencialmente, após o espalhamento da camada, efetuar proteção superficial com espalhamento de pó de pedra ou areia, seguida de rolagem de compactação (BALBO, 2007 p. 188).

Vale ressaltar que o PMF deve ser aplicado sem chuva, o que contribui para a cura do revestimento, além de ser inviável a liberação do tráfego após a compactação deste. Caso se respeite todo o processo de compactação e cura do material, será notável que ele terá durabilidade e resistência ao longo do tempo (BALBO, 2007).

O processo de cura se dá pela ação do calor e por reações físico-químicas que acontecem entre os emulsificantes e o agregado. Esses dois processos estimulam a liberação e evaporação da água do sistema, evento facilmente visualizado pela mudança na coloração da mistura aplicada, que passa de marrom (cor inicial) ao preto (cor final) (BERNUCCI 2008, p.399).

2.1.1.1.3 Asfalto-Borracha

A utilização da borracha de pneus que não apresentem mais possibilidade de uso em revestimentos asfálticos nos pavimentos rodoviários e urbanos tem sido empregada há mais de 40 anos no exterior. Pesquisas e aplicações de numerosas técnicas utilizando asfalto-borracha são uma realidade na maioria das estradas americanas.⁷

Durante o Século XIX, Charles Goodyear observou que o enxofre e a borracha a alta temperatura adquiriam uma consistência mais sólida. Esse foi um dos primeiros passos para o desenvolvimento dos pneus de borracha. Observou também que, com o passar do tempo, a mistura emborrachada não oxidava, ao contrário daquelas com asfalto convencional. Anos depois foi desenvolvida por pesquisadores a mistura do pó de pneu e asfalto quente para os usuais serviços de tapa-buracos. A partir desse momento, o asfalto-borracha começou a ser utilizado em larga escala nos Estados Unidos.⁸

⁷Asfalto-borracha. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ensinodareportagem/meiob/asfaltob.html>>. Acesso em 10 de dez.2016.

⁸Asfalto-borracha. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ensinodareportagem/meiob/asfaltob.html>>. Acesso em 10 de dez. 2016.

O asfalto-borracha tem como função a melhora, tanto nas propriedades das misturas quanto no desempenho do revestimento asfáltico, consequentemente aumentando a sua vida útil e a segurança de quem trafega, além da pouca necessidade de manutenção. Ele possui elasticidade elevada se comparado ao PMF, tem a capacidade de diminuição das trepidações, proporciona segurança em freadas bruscas, possui alta resistência ao envelhecimento como a presença de antioxidantes e do carbono na borracha dos pneus. Tem como vantagem a excelente relação custo-benefício (DNIT, 2006).

A borracha utilizada na fabricação do asfalto é composta de borracha natural, borracha sintética e negro de fumo. Tamanhos pequenos de partículas de borracha auxiliam na qualidade do revestimento, fazendo com que possua maior compatibilidade e, consequentemente, maior estabilidade quanto à estocagem (FERRARA, 2009).

Ainda segundo Ferrara (2009), o ligante com mistura de borracha apresenta diversas vantagens, como redução da suscetibilidade térmica (resistência à variação de temperatura); melhor adesividade aos agregados; aumento da flexibilidade; maior resistência à propagação de trincas e à formação de trilhas de roda; melhor aderência pneu-pavimento e redução do ruído provocado pelo tráfego.

Segundo o mesmo autor, para se obter o pó de borracha, são necessários três tipos de processos, sendo eles, o processo de moagem a frio, a regeneração e a criogenia. O processo de moagem é o mais utilizado, fazendo de forma com que o pneu seja triturado de 6 a 10cm, influenciando no atrito pelo aumento de temperatura, sendo seu principal objetivo separar o aço da borracha. O processo de regeneração é a regeneração dos pneus sem aproveitamento, no qual os pneus são cortados e purificados por peneiras. Os pedaços cortados são moídos e submetidos à digestão em vapor e produtos químicos. Já o processo de criogenia é feito com a utilização de nitrogênio líquido e com congelamento, no qual o pneu é esmagado e depois congelado até atingir a granulometria desejada.

Em relação às características do asfalto convencional e do asfalto borracha, sobre o aparecimento de trincas, os pavimentos com asfalto borracha têm maior resistência ao trincamento e a formações permanentes (trilhos de rodas). Isso só é possível pelo fato de o asfalto-borracha ter uma estrutura mais elástica que o CBUQ e, dessa forma, ser capaz de sofrer a deformação quando da passagem de veículos e voltar a sua estrutura original, diminuindo assim os defeitos indesejáveis (BERNUCCI, 2008).

Outro fator importante é que o asfalto borracha, devido às substâncias que contém, como o negro de fumo (*blackcarbon*), que protege o asfalto contra o desgaste químico

decorrente da exposição do pavimento aos raios ultravioletas, muito intensos no país, evita o envelhecimento precoce do asfalto (BERNUCCI, 2008).

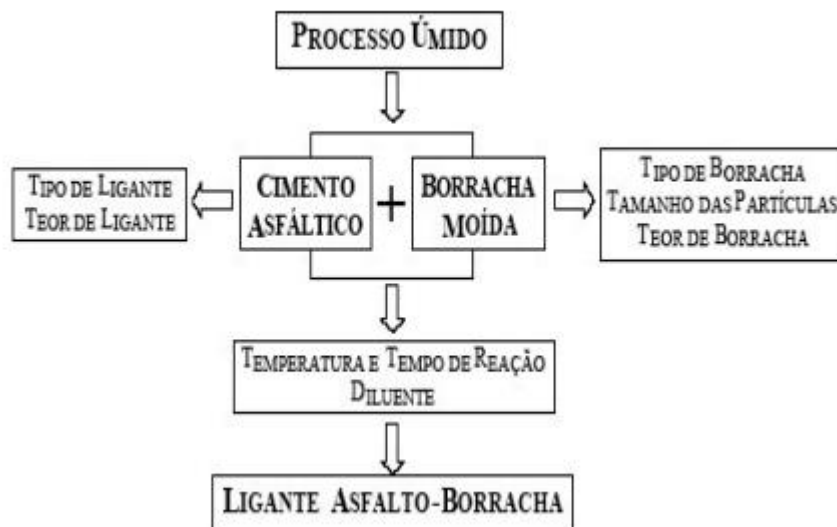
Segundo a greca asfaltos, outra característica importante é o envelhecimento do ligante asfáltico que é ocasionado na usinagem da massa asfáltica, que provoca uma redução da ductilidade e da recuperação elástica do ligante. O pavimento constituído por asfalto borracha consegue reduzir o envelhecimento e contribui assim para o enrijecimento do revestimento que, em função da deformabilidade da estrutura subjacente, pode ter sua vida útil reduzida.

Segundo Bernucci (2008), como desvantagem, esse revestimento possui altos teores de borracha, que levam a elevadas viscosidades, e que comprometem a trabalhabilidade da mistura asfáltica. Destaca-se também que as usinas são um pouco maiores que outras de asfalto convencional.

Ainda segundo Bernucci (2008), é importante destacar os custos de execução e produção, que são relativamente maiores em relação ao CBUQ, visto que é uma tecnologia ainda em evolução no Brasil e que utiliza equipamentos importados.

Para Ferrara (2009), na confecção do asfalto-borracha é usual, na maioria das usinas, a produção a partir de via úmida, ou seja, a borracha do pneu é previamente misturada ao ligante, modificando-o permanentemente para uma forma viscosa. Nessa modalidade ocorre a transferência mais efetiva das características de elasticidade e resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico original. A figura a seguir mostra esquematicamente o processo úmido.

FIGURA 5 – Esquema do aquecimento úmido



Fonte: Alves Mendes⁹

Segundo Bernucci (2008), para a produção do asfalto borracha são necessários:

Forno para o aquecimento do material betuminoso, capaz de aquecê-lo e manter sua temperatura em 180 graus;

Secador de agregado, capaz de eliminar a umidade e de aquecê-lo e mantê-lo dentro dos limites especificados de temperatura;

Triturador de borracha, que transforma os pneus em borracha moída;

Tambores magnéticos, responsáveis por separar os metais que constituem os pneus;

Termômetro para o controle de temperatura do material betuminoso e do agregado;

Equipamento misturador capaz de efetuar uma mistura homogênea e intimamente ligada entre o agregado mineral, a borracha moída e o material betuminoso;

Silos de agregados para armazenagem de minerais e da borracha moída;

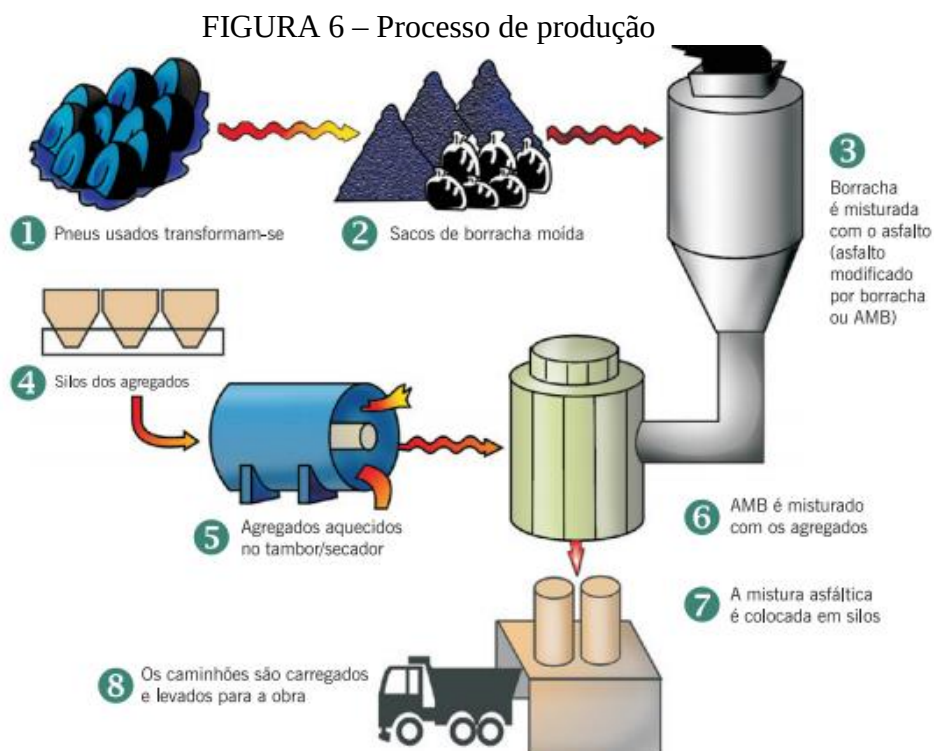
Tanques para armazenagem de CAP

Tanques térmicos para armazenagem da mistura já pronta (não podendo ficar estocada por um período maior que 1 hora).

⁹ Alves Mendes. Disponível em:

<http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2010/Biologia/monografias/2asfalto.pdf>. Acesso em 10 de dez. de 2016.

A figura 6 representa esquematicamente todo o processo de produção do Asfalto-Borracha:



Fonte: PAVIMENTAÇÃO BÁSICA PARA ENGENHEIROS¹⁰

O revestimento Asfalto-Borracha deve ser produzido em usina específica para o material, devendo ser calibrada de forma com que as proporções das misturas sejam iguais ao desejado.

A temperatura para a secagem dos agregados deve ser de até 180 graus, permitindo a total ausência de umidade nos materiais. Já a temperatura do aquecimento do cimento asfáltico deve estar entre 165 a 180°C.

Segundo especificação técnicas do DER/PR sobre o emprego de asfalto-borracha em obras de pavimentação com misturas a quente, são: a) o teor mínimo de borracha deve ser de 15% em peso, incorporado no ligante asfáltico (via úmida). b) o tempo máximo e as condições de armazenamento e estocagem do asfalto-borracha, para diferentes situações, devem ser definidos pelo fabricante; c) a garantia do produto asfáltico por carga deve ser atestada pelo fabricante por meio de certificado com as características do produto. d) para utilização do asfalto-borracha estocado, deve-se verificar, previamente, se os resultados dos ensaios cumprem os limites da especificação.

¹⁰Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2011/08/Pavimenta%C3%A7%C3%A3o-Asf%C3%A1ltica-cap2.pdf>>. Acesso em 10 de dez. 2016.

O preparo da superfície do solo que recebe a camada do concreto asfáltico de borracha deve se apresentar totalmente limpo, pois poeiras ou outras substâncias podem ser prejudiciais para a qualidade do asfalto (DER/PR).

Deve-se realizar a pintura de ligação, procedimento igual ao do PMF e o CBUQ, pois a ela serve como ligante entre o revestimento e a base. Eventuais defeitos no revestimento devem ser reparados imediatamente após a aplicação (DER/PR).

Para o transporte, os cuidados são semelhantes ao CBUQ, em que as caçambas devem ser cobertas com lona, de forma a proteger a massa asfáltica quanto à variação de sua temperatura (DNIT, 2004).

O espalhamento do revestimento deve ser preferencialmente realizado com vibroacabadoras, já que elas permitem maior qualidade do material e garantem a espessura desejada do revestimento (DNIT, 2006).

Segundo o DER/PR, não é permitida a aplicação de qualquer revestimento sem a sinalização prévia do local, sem o licenciamento ou autorização ambiental, sem a aprovação prévia da dosagem, em dias de chuva e sem que a temperatura ambiente seja inferior a 10° C.

2.2 Impactos Ambientais gerados pelos Revestimentos Asfálticos

Derivados do petróleo, os revestimentos asfálticos contribuem muito para a degradação e a poluição do meio ambiente. Todos utilizam matérias-primas de fontes esgotáveis, como o petróleo e agregados minerais.

No Brasil, há poucas usinas que produzem o asfalto com mistura de borracha de pneu, embora seja reciclado ele necessita de energia extra para sua trituração e separação da borracha com o aço. Mesmo sendo considerado como asfalto ecológico, muito precisa evoluir em relação a fatores como a sua produção e sua aplicação.

Em recente visita à usina de CBUQ na cidade de Muriaé, MG, foi observado que ela fica localizada em uma área mais afastada do centro da cidade, justamente devido a sua poluição, que resulta na liberação de gases prejudiciais à saúde humana. Contudo, um problema que no futuro pode influenciar ainda mais, é o crescente número de loteamentos sendo construídos perto da região da usina, local que antes era livre e menos povoado, hoje transformou-se em um bairro.

Outro fato importante observado na usina de CBUQ é que há um limite de produção de asfalto imposto por órgãos ambientais. Por exemplo, se a usina tem uma produtividade máxima de 30 metros cúbicos de asfalto por dia, o operador limita sua produção a 20 metros

cúbicos, cumprindo as leis ambientais preestabelecidas. Mesmo assim, a produção do asfalto chega a incomodar devido ao odor liberado na área de usinagem, fator claramente prejudicial à saúde.

Segundo Lopes (2006) pesquisas do ministério da saúde já indicam referências bibliográficas com estudos sobre “as emissões de asfalto e também relaciona a atividade de pavimentação com asfalto como de risco para a formação de câncer de pulmão e dos brônquios, os epitelomas (câncer de pele) e o câncer de bexiga”.

Os impactos gerados pelo asfalto ao homem e ao meio ambiente, em função da sua composição química e física, ficam mais evidentes durante o processo de produção, quando as usinas tornam-se fontes poluidoras, contaminando o solo, a água superficial e subterrânea, o ar, além de gerar adensamento e compactação do solo. Enfim, tudo isso significa menor qualidade de vida para o planeta e para os homens (COELHO, 2011).

Outro problema que está relacionado à saúde é a questão dos pavimentadores (motoristas de rolo compressor, motoristas da máquina de aplicar a camada asfáltica e motoristas de caminhão basculante, além da equipe de aplicação propriamente dita), pois a maioria não utiliza proteções respiratórias e, assim, inalam compostos químicos tóxicos oriundos do asfalto. Quando os vapores esfriam, eles se condensam na forma de fumos de asfalto. Assim, os trabalhadores que usam asfalto aquecido estão expostos a fumos e a vapores de asfalto. Durante a utilização do asfalto líquido em temperatura ambiente, não há exposição a fumos, apenas ao líquido e aos vapores, que contêm particulados e, quando condensados, ficam viscosos (LOPES, 2006).

As misturas a quente como o CBUQ e o Asfalto-Borracha são produzidas a partir do aquecimento dos ligantes asfálticos, como CAP, sendo elevado à temperatura da ordem de 150 ° C a 180 ° C. Para se chegar a essas temperaturas, utiliza-se como combustível o carvão, o diesel e o gás natural, que são os principais emissores dos chamados Gases de Efeito Estufa (GEE), especialmente o CO₂, consequentemente contribuindo muito no impacto ambiental.¹¹

As vibrações geradas pela passagem de veículos também é outro problema, pois se propagam em todas as direções, sendo transmitidas principalmente para o ar e o solo, ratificando, portanto, a importância da qualidade da execução dos revestimentos que, em caso de serem mal determinados para cada região, podem impactar o meio ambiente em proporções maiores (DNER/PR).

¹¹Misturas asfálticas quentes. Disponível em :<<http://www.fucapi.br/tec/2014/01/31/misturas-asfalticas-quentes-impactos-ambientais-e-utilizacao-do-rcd/>> . Acesso em 10 dez. 2016.

Da mesma forma como existem vibrações e ruídos, há impactos ambientais na extração de minerais (brita, areia). Muitas vezes essa etapa leva a contaminações de rios e afluentes, alteração da paisagem natural do local de extração, alteração do perfil de encostas, degradação dos solos e riscos de erosão pela modificação do terreno (DNER/PR).

É importante considerar que o revestimento asfáltico absorve muito mais calor do que qualquer outro tipo de revestimento. Em dias quentes, a sensação térmica nas grandes cidades é muito maior do que o de costume, o que causa um grande desconforto para as pessoas e a todos de uma forma geral. O asfalto também é impermeabilizante, ou seja, muda as características do solo, fazendo com que o escoamento da água das chuvas favoreça também o aparecimento de enchentes em épocas de grandes precipitações.

Como fator positivo, pode ser dado como exemplo o caso da utilização de misturas frias, uma vez que no processo de sua produção não se faz necessário o aquecimento do ligante nem dos agregados minerais. Isso reflete diretamente no consumo de energia para sua confecção. Alguns dados, por exemplo, mostram que a produção de um PMF fornece uma economia de cerca de 50% em relação à mistura quente.¹²

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os revestimentos asfálticos estão cada vez mais presentes em obras de pavimentação no Brasil. Bem executados e produzidos, apresentam inúmeras vantagens, como a resistência ao tráfego, impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade e durabilidade.

O CBUQ, atualmente, é o revestimento mais utilizado devido a sua resistência e disponibilidade, porém são grandes os seus impactos ambientais produzidos, como as emissões de gases de efeito estufa e de outros gases tóxicos, que comprometem a saúde dos operadores, além de contribuírem para a devastação de rios e matas com a extração de agregados.

Já o PMF, sendo uma mistura a frio, apresenta impactos inferiores pelo auxílio na redução do consumo de energia, pois não são necessários os aquecedores de ligantes asfálticos. Entretanto, a extração de minerais favorece a degradação. O Asfalto-Borracha, apesar de utilizar pneus reciclados em sua mistura, fato que contribui para um menor impacto ambiental, é semelhante ao CBUQ, e por ser uma mistura a quente, é necessária a elevação da

¹²Misturas asfálticas quentes. Disponível em :<<http://www.fucapi.br/tec/2014/01/31/misturas-asfalticas-quentes-impactos-ambientais-e-utilizacao-do-rcd/>> . Acesso em 10 dez. 2016,

temperatura do ligante, o que contribui muito na emissão de gases poluidores e no consumo de energia.

Conclui-se, então, que os revestimentos asfálticos são extremamente prejudiciais ao meio ambiente, pois seus derivados, sua produção e aplicação apresentam inúmeros desafios para serem sustentáveis e menos degradantes. Contudo, suas vantagens, principalmente em relação ao conforto e à segurança, influenciam diretamente na aprovação dos usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 3 reimp, 2008.

COELHO, Johnny Gilberto Moraes et al. **Asfalto ambientalmente correto**: uma nova tendência de mercado. XXXIX Congresso Brasileiro em Engenharia. COBENGE, 3 a 6 de out., 2011, Blumenau, Santa Catarina.

CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPORTES – PESQUISA 2016.
Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/pesquisa-cnt-aponta-58-das-rodovias-com-problemas>>. Acesso em 11 de dez. 2016.

DANIELESKI, M. L. **Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos**: aplicação à rede viária de porto alegre. 2004. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM – PARANÁ. 2005.
Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/pdf_Pavimentacao/ES-P15-05CAUQcomAsfaltoPolimero.pdf>. Acesso em 10 de dez. 2016.

_____. **DNIT 005/2003 – TER**: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: Terminologia. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

_____. **DNIT 031/2004-ES**. Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

_____. **DNER-ES 317/97**. Pavimentação – Pré-misturado a frio. Norma Rodoviária. Especificação de Serviço. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNIT. **Manual de pavimentação**. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006,

FERRARA, R. D. **Estudo comparativo do custo x benefício entre o asfalto convencional e asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneus**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2009.

GRECA ASFALTOS. 2016. Disponível em: <<http://www.grecaasfaltos.com.br/asfalto-borracha>>. Acesso em 10 de dez. 2016.

GRECO, J. A. S. Notas de Aula – **Conceitos básicos sobre pavimentação**. UFMG, 2010.

LOPES, J. L. Riscos para a saúde de trabalhadores de pavimentação com asfalto. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente** – v.3, n.3, Seção Interfaces 1, ago./ dez. 2006.

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 em Engenharia de Produção – Civil) – Faculdade Brasileira – UNIVIX – Vitória, 2009.

MOTTA, R. S. **Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissão de poluentes de consumo energético**. São Paulo, 2011. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini, 1997.

_____. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. vol. 1. 2. ed. São Paulo: Pini, 2001.

_____. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. vol. 2. 2. ed. São Paulo: Pini, 2001.