

FACULDADE EDUFOR
ENGENHARIA CIVIL

ANA LUIZA TORRES FRANÇA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
UTILIZAÇÃO DE MATERIAS FRIOS NA PAVIMENTAÇÃO DE TRÁFEGO
MODERADO



São Luís

2023

F815a França, Ana Luiza Torres

O ambiente das fraudes nas empresas brasileiras nos anos de 2016/2017: uma pesquisa realizada pela Kroll – Empresa Global de Consultoria de Riscos / Ana Luiza Torres França — São Luís: Faculdade Edufor, 2023.

17 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (ENGENHARIA CIVIL) — Faculdade Edufor - São Luís, 2023.

Orientador(a) : Franklin Roosevelt do Ó

1. Pavimentação. 2. Material frio. 3. Tráfego leve. I. Título.

FACULDADE EDUFOR SÃO LUÍS

CDU 678.049.2

UTILIZAÇÃO DE MATERIAS FRIOS NA PAVIMENTAÇÃO DE TRÁFEGO MODERADO

Ana Luiza Torres França¹
Me. Franklin Roosevelt, do Ó²

Resumo

Este trabalho apresentou a pavimentação asfáltica como elemento crucial na infraestrutura global, destacando os impactos ambientais e custos elevados dos materiais asfálticos convencionais. Em resposta a esse cenário, os materiais frios surgiram como alternativas sustentáveis, notadamente o micro revestimento asfáltico e o asfalto-borracha para tráfego moderado. Esses materiais proporcionaram economia significativa, sustentabilidade ambiental e menor impacto na produção de gases de efeito estufa. O objetivo deste artigo foi analisar a aplicação de materiais frios na pavimentação de vias com tráfego moderado, destacando o micro revestimento asfáltico e o asfalto-borracha como opções sustentáveis para atender às exigências específicas desse tipo de tráfego. Para alcançar esse propósito, conduzimos uma revisão bibliográfica, com ênfase na literatura sobre a aplicação de materiais frios em vias de tráfego moderado. Essa análise documental serviu como alicerce para a formulação de conclusões robustas. Dessa forma, conclui-se que o material frio na pavimentação revelou-se ser promissor, enfatizando benefícios de ordem técnica, econômica e ambiental. O Micro Revestimento Asfáltico a Frio (MRAF) e o Asfalto-Borracha surgiram como soluções sustentáveis, apontando para um ambiente propício à pesquisa futura e inovações no contexto da pavimentação brasileira.

Palavras-chave: Pavimentação. Material Frio. Tráfego Leve.

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Edufor São Luís.
E-mail: ana.luiza.torres.franca@alunoedufor.com.br

² Mestre em Engenharia Elétrica. E-mail: franklin.doo@edufor.edu.br

Abstract:

This paper has presented asphalt paving as a crucial element in global infrastructure, highlighting the environmental impacts and high costs of conventional asphalt materials. In response to this scenario, cold materials have emerged as sustainable alternatives, notably asphalt micro surfacing and asphalt-rubber for moderate traffic. These materials have provided significant savings, environmental sustainability and a lower impact on the production of greenhouse gases. The aim of this article was to analyze the application of cold materials in the paving of roads with moderate traffic, highlighting micro asphalt surfacing and asphalt-rubber as sustainable options to meet the specific requirements of this type of traffic. To achieve this, we conducted a literature review, focusing on the literature on the application of cold materials on roads with moderate traffic. This documentary analysis served as a foundation for the formulation of robust conclusions. In this way, we concluded that cold materials in paving have proved to be promising, emphasizing technical, economic and environmental benefits. Micro Cold Asphalt Surfacing (MRAF) and Asphalt-Rubber have emerged as sustainable solutions, pointing to an environment conducive to future research and innovation in the context of Brazilian paving.

Keywords: Paving. Cold Material. Light Traffic.

1. Introdução

A pavimentação asfáltica é uma técnica amplamente disseminada na construção de vias urbanas e rodovias em escala global, desempenhando um papel crucial na infraestrutura de transporte. No contexto brasileiro, essa técnica é extensivamente aplicada em corredores rodoviários de grande porte, desempenhando um papel vital na conectividade do país. No entanto, a utilização de materiais asfálticos convencionais frequentemente acarreta impactos ambientais substanciais e custos significativos, devido à necessidade de aquecimento desses materiais (Callistter Jr. e Rethwisch, 2018).

Nesse cenário, a adoção de materiais frios na pavimentação asfáltica emerge como uma alternativa economicamente vantajosa, sustentável e de durabilidade notável (Almeida, 2016). Esses materiais são formulados a partir de emulsões asfálticas que dispensam o processo de aquecimento durante a aplicação, resultando em uma redução substancial nos custos de produção e transporte. Além disso, a integração de materiais frios contribui para a diminuição das emissões de poluentes atmosféricos, desempenhando um papel fundamental na preservação do meio ambiente

O micro revestimento asfáltico se destaca como um dos materiais frios mais comuns na pavimentação asfáltica do Brasil (Almeida, 2016). Essa técnica envolve a aplicação de uma camada fina de emulsão asfáltica e agregados minerais na superfície da pista, demonstrando resultados notáveis em termos de durabilidade e resistência ao tráfego. Outra alternativa de material frio é o asfalto-borracha, que utiliza pneus reciclados como agregado na produção da mistura asfáltica (Ceratti, Valente e Bacarji, 2016). Essa técnica tem ganhado notoriedade no Brasil, sendo adotada em diversas cidades como uma solução para reduzir o descarte inadequado de pneus e contribuir para a preservação ambiental.

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo analisar a utilização de materiais frios na pavimentação de vias de tráfego moderado, com enfoque no micro revestimento asfáltico e no asfalto-borracha como alternativas sustentáveis para atender às demandas específicas de tráfego moderado.

Para alcançar o objetivo proposto, será conduzida uma pesquisa bibliográfica, com ênfase na literatura relacionada à aplicação de materiais frios em vias de tráfego moderado. Essa análise bibliográfica servirá como alicerce para a construção de

conclusões significativas e a disponibilização de informações valiosas relacionadas à promoção de pavimentação sustentável em vias de tráfego moderado.

2. Vantagens de Utilização de Materiais Frios

As vantagens da utilização de materiais frios na pavimentação de vias de tráfego moderado são numerosas e abrangentes. Essas alternativas de pavimentação representam uma solução eficiente e sustentável para atender às necessidades de vias com menor volume de tráfego. Abaixo, destacaremos algumas das principais vantagens desses materiais frios:

Economicamente vantajoso: Uma das vantagens mais significativas da utilização de materiais frios é a economia de custos. Em comparação com os materiais asfálticos convencionais que requerem aquecimento, os materiais frios dispensam esse processo, resultando em uma redução substancial nos custos de produção e transporte. Isso é especialmente relevante em vias de tráfego moderado, onde a otimização de recursos é essencial. (ALMEIDA, 2016).

Segundo Smith e Belty (1999). Sustentabilidade Ambiental: Os materiais frios promovem a sustentabilidade ambiental. A diminuição da necessidade de aquecimento dos materiais reduz as emissões de gases de efeito estufa, tornando a pavimentação mais amigável ao meio ambiente. Além disso, materiais como o asfalto-borracha, que utiliza pneus reciclados como agregado, contribuem para a redução do descarte inadequado de pneus e para a preservação ambiental.

Portanto, a utilização de materiais frios na pavimentação de vias de tráfego moderado representa uma opção economicamente vantajosa e sustentável. Esses materiais oferecem benefícios significativos para que seja bem mais aplicado essas técnicas econômicas. (LEAL, 2005).

3. Micro Revestimento Asfáltico: Durabilidade e Resistência

O micro revestimento asfáltico representa uma técnica inovadora de pavimentação que se destaca por sua aplicação de uma fina camada de emulsão asfáltica juntamente com agregados minerais diretamente sobre a superfície da pista. Essa técnica é amplamente empregada em projetos de reabilitação de pavimentos, especialmente em rodovias e vias urbanas que enfrentam tráfego moderado, buscando aprimorar sua durabilidade e segurança. (FHWA, 2019).

De acordo com estudos conduzidos por Smith e Beatty (1999) e Santo e Reis (1995 e 1996), a aplicação do Micro Revestimento Asfáltico (MRAF) pode ocorrer tanto em uma única camada quanto em dupla camada. A compactação do MRAF é naturalmente realizada pelo tráfego, eliminando a necessidade do uso de um rolo compactador, a menos em situações específicas, como locais com baixo volume de tráfego. O esquema ilustrativo da aplicação em camadas é apresentado. Conforme é mostrado na figura 1.

Figura 1: Especificação da camada do MRAF.

MRAF (2 camadas)	2ª - Segunda camada (MRAF)
	1ª - Primeira camada (MRAF)

Pavimento antigo (com problemas funcionais)

/// Subleito ///

Fonte : FAGUNDES (2018)

O micro revestimento asfáltico é caracterizado por ser uma mistura asfáltica que pode ser aplicada a frio, composta por agregados de graduação contínua, filler, água e aditivos, quando necessário. Uma das suas características distintivas é a utilização de emulsão asfáltica modificada por polímeros elastoméricos, conferindo-lhe propriedades específicas. A aplicação é realizada por meio de uma usina móvel que produz a mistura no local e a aplica diretamente na pista, agilizando o processo de pavimentação. Na Figura 2, é mostrada equipamento possibilitando a visualização geral de toda usina.

Figura 2: Demonstração de usina móvel



Fonte : VENESCAU (2023)

A camada de Micro Revestimento Asfáltico (MRAF) é aplicada em espessuras finas que geralmente variam entre 8 mm e 15 mm, podendo atingir até 20 mm, dependendo do tamanho dos agregados utilizados e da classe de tráfego correspondente. Nessa tabela, são especificadas as taxas de aplicação mais comuns, seguindo as diretrizes estabelecidas na NBR 14948:2003, DNIT-ES 035 (2005) para as categorias A, B e C, juntamente com suas respectivas recomendações para uso geral. Conforme é mostrado na figura 3.

Figura 3: taxas de aplicação de acordo com a NBR 14948:2003

FAIXA GRANULOMÉTRICA	USOS GERAIS	ESPESSURA (mm)	VALORES TÍPICOS (kg/m ²)
Faixa A, NBR	Vias de média intensidade de tráfego e aeroportos	-	5,0 - 11,0
Faixa I, DNIT	Tráfego em vias urbanas e aeroportos	4 - 15	5,0 - 19,0
Tipo II, ISSA	-	-	5,4 - 10,8
Faixa B, NBR	Vias de média a elevada intensidade de tráfego e aeroportos	-	8,0 - 18,0
Faixa II, DNIT	Rodovias de tráfego pesado; trilhas de rodas	6 - 20	8,0 - 16,0
Tipo III, ISSA	-	-	8,1 - 16,3
Faixa C, NBR	Vias de média a elevada intensidade de tráfego e aeroportos	-	15,0 - 30,0
Faixa III, DNIT	Rodovias de tráfego pesado; regularização de rodovias	12 - 37	15,0 - 30,0

Fontes: NBR 14948:2003

A aplicação do micro revestimento asfáltico traz consigo uma variedade de benefícios notáveis. Além de impermeabilizar pavimentos antigos com desgaste superficial, ele proporciona proteção a revestimentos recentes com graduação aberta, contribuindo para a sua preservação. Uma das vantagens mais significativas reside no aumento do coeficiente de atrito entre pneu, pavimento e rugosidade, o que promove a segurança viária. Adicionalmente, o micro revestimento asfáltico age como uma fina camada sobre os pavimentos existentes, preservando o greide da pista. (NBR 14948:2003).

4. Asfalto-Borracha: Contribuição para a Preservação Ambiental

A incorporação de asfalto-borracha ou asfalto-ecológico, que inclui pneus inservíveis na composição de revestimentos asfálticos utilizados em pavimentos, é uma prática com um histórico de várias décadas na América Latina. No Brasil, essa técnica tem sido amplamente adotada pela engenharia, de acordo com informações da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP). O processo de produção do asfalto de borracha envolve a introdução do polímero BMP, que é essencialmente a borracha moída de pneu, na composição do cimento asfáltico de petróleo (CAP). Essa combinação ocorre em temperaturas elevadas e sob condições rigorosamente

controladas, com a proporção de borracha variando geralmente entre 15% e 25% em relação ao peso total da mistura, que inclui diluentes e aditivos específicos. (SILVA, 2014).

Uma das notáveis vantagens dessa abordagem é a efetiva reutilização da borracha proveniente de pneus inservíveis, que de outra forma seriam descartados de maneira inadequada no ambiente. Além de proporcionar um destino ecologicamente responsável para pneus inservíveis, a incorporação de borracha moída de pneus na composição do asfalto tem um impacto substancial nas propriedades e no desempenho do revestimento asfáltico. Isso resulta em um produto final com maior durabilidade e resistência, o que, por sua vez, contribui para a melhoria da qualidade das estradas e rodovias, ao mesmo tempo em que atende às preocupações ambientais ao reduzir o descarte impróprio de pneus inservíveis. Conforme é mostrado na figura 4.

Figura 4: Representatividade do asfalto borracha



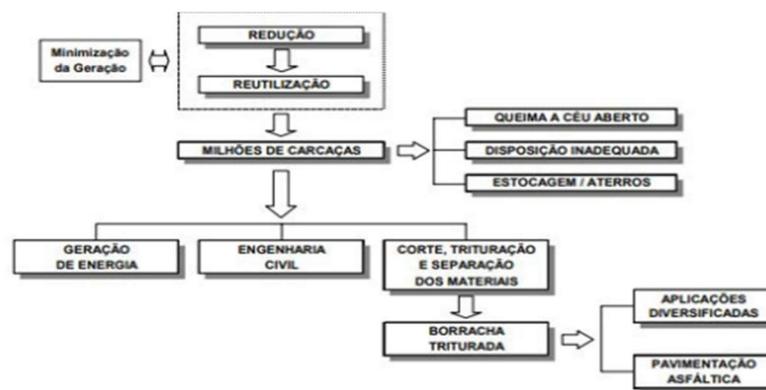
Fonte: GRECA ASFALTO, (2020)

A pavimentação com asfalto-borracha, embora em média cerca de 30% mais onerosa que o asfalto convencional, proporciona uma série de benefícios. Isso inclui uma vida útil estendida das estradas, redução do ruído causado pelo tráfego, e maior segurança ao prevenir derrapagens em condições de chuva, conforme apontado por Liedt et al. (2006). Além disso, essa abordagem traz vantagens para a saúde, o meio ambiente e a segurança (SMS), ao diminuir as emissões de poluentes e reduzir a propagação de trincas nas vias. O uso de asfalto-borracha também permite intervalos mais longos entre intervenções de manutenção nas pistas e minimiza o ruído do tráfego, bem como reduz o spray de água gerado pelos pneus dos veículos em dias chuvosos. A incorporação do pó de borracha originado de pneus reciclados no asfalto proporciona maior flexibilidade e resistência, melhorando a aderência entre os pneus e o pavimento, o que, por sua vez, reduz o risco de acidentes, entre outros benefícios.

No entanto, é importante observar que o asfalto de borracha, embora uma fonte de recursos renováveis, apresenta desvantagens que impactam negativamente o meio ambiente, como ressaltado por Liedi et al. (2006). Isso inclui uma maior complexidade operacional e de execução, exigindo equipamentos especiais e trabalho em temperaturas mais elevadas.

A maneira adequada de lidar com a disposição final de pneus usados demanda uma abordagem cuidadosa. O descarte inadequado em aterros sanitários é impraticável devido à baixa compressibilidade e à degradação lenta desses pneus. Tal descarte inadequado pode levar à contaminação do solo, liberando substâncias tóxicas e provocando enchentes, acarretando impactos prejudiciais ao meio ambiente, inclusive riscos para a saúde pública. Conforme é mostrado na figura 5.

Figuras 5: Processo de reutilização do pneu



Fonte: Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental (2002)

5. Viabilidade técnica, ambiental e econômica da utilização do material a frio em pavimentos asfálticos de tráfego moderado

5.1 Viabilidade técnica

A utilização do micro revestimento asfáltico a frio constitui uma técnica contemporânea de pavimentação asfáltica originada das lamas asfálticas selantes. Seu propósito é a proteção, impermeabilização e renovação superficial e estética de pavimentos asfálticos no início do desgaste devido ao tráfego e envelhecimento causado pelo clima. Esse procedimento envolve o uso de emulsão modificada por polímeros elastoméricos. A especificação técnica para a execução do micro revestimento asfáltico a frio estabelece requisitos técnicos para materiais, equipamentos, execução e controle de qualidade, assim como critérios para aceitação, rejeição, medição e pagamento dos serviços. (DER/PR ES-P 30/05)

Após a aplicação do micro revestimento asfáltico a frio, o tráfego pode ser normalizado depois de uma hora ao sol, minimizando assim o tempo de interrupção do tráfego, uma grande vantagem em áreas de tráfego moderado. Sua alta durabilidade permite que o pavimento resista ao desgaste por um período mais longo antes de ser necessária outra manutenção, o que reduz custos e aumenta a eficiência. Além disso, seu custo-benefício mais baixo em comparação com outros procedimentos torna o micro revestimento asfáltico a frio uma opção econômica para a manutenção de pavimentos asfálticos, sendo uma técnica viável e eficaz. É essencial considerar as condições específicas do projeto e os requisitos técnicos estabelecidos nas especificações para a escolha dessa técnica. (GUIA BRASILEIRO DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO, 2021; MANUAL DE CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS, 2022)

Por outro lado, a utilização do asfalto borracha a frio em pavimentos asfálticos de tráfego moderado também é uma abordagem viável e eficaz. Esse tipo de asfalto é produzido pela incorporação de borracha de pneus em ligantes asfálticos utilizados em obras de pavimentação, promovendo a conservação do pavimento, mantendo-o por mais tempo em comparação com outros procedimentos existentes. Após a aplicação, o tráfego pode ser normalizado em uma hora ao sol, o que é benéfico para a continuidade do fluxo de tráfego. A alta durabilidade do asfalto-borracha, juntamente com seu menor custo-benefício em relação a outros métodos, torna essa técnica economicamente vantajosa para a manutenção de pavimentos asfálticos. (CERATTI, 2011).

Ambas as técnicas oferecem alternativas vantajosas para a manutenção de pavimentos asfálticos de tráfego moderado, cada uma com suas características específicas e vantagens a considerar, tornando a escolha entre elas crucial e dependente das necessidades e especificações de cada projeto. (CERATTI, 2011).

5.2. Ambiental

A aplicação do micro revestimento asfáltico a frio apresenta significativas vantagens ambientais na indústria de pavimentação. Essa técnica utiliza uma quantidade substancialmente menor de material em comparação com métodos convencionais de recapeamento, resultando em uma redução no consumo de recursos naturais e no volume de resíduos. Além disso, a aplicação em camadas finas, combinada com a utilização de emulsões asfálticas especiais, contribui para a redução do desperdício de materiais durante o processo de construção e manutenção de pavimentos asfálticos, o que se reflete positivamente na diminuição do impacto ambiental. (FHWA, 2019).

Além dos aspectos de redução de resíduos, o micro revestimento a frio é aplicado em temperaturas mais baixas, o que reduz consideravelmente o consumo de energia durante a produção e aplicação. Isso leva a uma redução na pegada de carbono, minimizando a emissão de gases de efeito estufa associados à produção de asfalto convencional. A diminuição do consumo de combustíveis fósseis durante o processo de produção reflete um compromisso positivo em direção à sustentabilidade ambiental, tornando o micro revestimento a frio uma opção mais ecoeficiente para a manutenção de pavimentos asfálticos. (CERATTI, 2011).

Assim como o micro revestimento asfáltico a frio a incorporação de resíduos de borracha de pneus em pavimentos asfálticos apresenta uma série de benefícios ambientais que merecem atenção. Existem fatores a serem considerados, tanto positivos quanto negativos, quando se trata da viabilidade ambiental. É essencial analisar aspectos referentes à reutilização de pneus descartados e à produção de asfalto modificado, que envolve práticas prejudiciais ao meio ambiente, semelhantes ao processo de produção do asfalto convencional (RODRIGUES, PAES, & SILVA, 2019).

Uma vantagem notável é a economia de recursos naturais por meio da reciclagem de pneus, resultando em menor consumo de combustíveis não renováveis, como carvão e óleo, devido ao potencial energético dos pneus (Santos, Botinha, & Leal, 2013). A utilização de asfalto modificado com borracha não apenas reduz a dependência de petróleo e asfalto, mas também prolonga a vida útil do pavimento, reduzindo a necessidade de manutenção frequente (LEAL, 2005).

Além disso, a incorporação da borracha de pneus na composição do asfalto contribui para mitigar riscos de incêndios e desastres ambientais. O descarte inadequado de pneus em locais inapropriados pode afetar os ecossistemas aquáticos e deixar áreas desprotegidas do solo suscetíveis à degradação e a possíveis riscos, como destacado por (SILVA, 2014).

A inclusão da borracha como um aditivo do asfalto também contribui para a diminuição da dependência de petróleo, gerando impactos positivos para o meio ambiente, de acordo com Silva (2014). A utilização de resíduos de borracha de pneus nos pavimentos asfálticos é ainda vantajosa na redução das emissões de gases do efeito estufa. Enquanto o descarte em aterros resulta na liberação de metano, e a queima de pneus contribui para emissões de CO₂, o emprego da borracha de pneus na produção de asfalto oferece uma alternativa ambientalmente mais sustentável.

É crucial ressaltar que a viabilidade ambiental da utilização desses resíduos depende de variáveis como a qualidade dos materiais utilizados na mistura asfáltica, o gerenciamento adequado dos resíduos produzidos e as condições ambientais específicas da região. (ZARARINI, 2017).

5.3. Econômica

De forma a comparar as composições de serviços de CBUQ e micro revestimento a frio foram utilizadas as composições de custo unitário SICRO do DNIT levando em conta o preço dos equipamentos, mão de obra e a usinagem com base a novembro de 2014, o valor unitário total é de R\$14,51 do micro revestimento a frio. Conforme é mostrado na figura 6.

Figura 6: Custo unitário do micro revestimento a frio

Serviço: MICROREVESTIMENTO A FRIO COM EMULSÃO COM POLÍMERO - e=1,50 CM (BANHO DUPLO)						
Unid: M2						
Equipamentos	Qtde	UTILIZACAO		CUSTO OPERACIONAL		Custo Horario
		Prod	Improd	Prod	Improd	
TRATOR AGRICOLA : MASSEY FERGUSON : MF 292	1,00	0,19	0,81000	71,8265	13,4311	24,53
CARREGADEIRA DE PNEUS : CASE : W-20 -1,70 M3	1,00	0,06	0,94000	131,46	20,55	27,20
VASSOURA MECANICA : CMV : VM 7 -REBOCAVEL	1,00	0,19	0,81000	4,53	-	0,86
TANQUE DE ESTOCAGEM DE ASFALTO : DIFALI	2,00	1,00	0,00000	20,30	-	40,60
EQUIP. DISTR. DE L.A. RUPT. CONTR. : M. BENZCIF	1,00	1,00	0,00000	302,5805	17,66	302,58
CAMINHÃO BASCULANTE : M. BENZ : 2423 K -10 M3	0,07	1,00	0,00000	142,76	16,18	9,99
CAMINHÃO TANQUE : M. BENZ : ATEGO 141842 - 6,0	1,00	0,30	0,70000	101,02	16,18	41,64
						0,00
Total						447,40
Mao de Obra						
IH0044 - SERVENTE				Quant.	Salario	Custo Horario
IH501 - ENCARREGADO DE TURMA				6,00000	7,52	45,13
				1,00000	42,78	42,78
Total						87,91
ducao da Equipe	600,000	M2H		CUSTO HORARIO TOTAL		535,31
CUSTO UNITARIO DE EXECUCAO						
						0,89
Material						
		Unid	Custo.	Consumo		Custo Unitario
EMULSÃO COM POLÍMERO PARA MICROREVESTIMENTO		Ton	1750,00	0,00290		5,08
CAL HIDRATADA		KG	0,54	0,33760		0,18
BRITA 1 (3/8" - 3/16"		M3	65,00	0,00506		0,33
PÓ DE PEDRA (<3/16"		M3	45,00	0,01144		0,51
Total						6,10
Transporte						
		Unid	DMT	Consumo	Momento	Custo
						Custo Unitario
BRITA 1 (3/4" - 3/8"		M3 x Km	125,00	0,00734	0,92	0,57000
PÓ DE PEDRA (<3/16"		M3 x Km	125,00	0,01716	2,15	0,57000
EMULSÃO COM POLÍMERO PARA MICROREVESTIMENTO		Ton x Km	1.250,00	0,00290	3,63	0,50000
CAL HIDRATADA		Ton x Km	1.250,00	0,0003375	0,42	0,50000
					0,00	0,00
					0,00	0,00
Total						3,76
Total						10,75
Bonificacao					35,00%	3,76
Preço de Venda						14,51

Fonte: DNIT (2014)

Já para a composição de CBUQ – Capa de Rolamento, conforme é mostrado na figura 5 foi observado mediante da composição que a unidade do CBUQ que está em t. Constatamos que o valor do CBUQ é 96,51% mais caro que do MICRO REVESTIMENTO ASFALTICO A FRIO. Conforme é mostrado na figura 7.

FIGURA 7: Custo Unitário do CBUQ

Serviço: CONC. BETUMINOSO USINADO A QUENTE - CAPA ROLAMENTO						
Unid: T						
Equipamentos	Qtde	UTILIZACAO		CUSTO OPERACIONAL		Custo Horario
		Prod	Improd	Prod	Improd	
TRATOR AGRICOLA : MASSEY FERGUSON : MF 2924 -	1,00	0,24	0,76000	71,8265	13,4311	27,45
ROLO COMPACT. : DYNAPAC : CC-422C -TANDEN VIBR. AP. 1	1,00	0,56	0,44000	113,74	13,43	69,60
ROLO COMPACT. : CATERPILLAR : PS-360 C -DE PNP. 25 T	2,00	0,29	0,71000	136,12	13,43	98,02
VASSOURA MECÂNICA : CMV : VM 7 -REBOCÁVEL	1,00	0,24	0,76000	4,53	-	1,09
VIBRO-ACABADORA DE ASFALTO : CIFALI : VDA-600BM -S/ES	1,00	0,81	0,19000	154,6943	21,56	129,40
CAMINHÃO BASCULANTE : M. BENZ : 2423 K -10 M3 - 15 T	1,53	1,00	0,00000	142,76	16,18	218,42
Total						543,98
Mao de Obra				Quant.	Salario	Custo Horario
IH0044 - SERVENTE				8,00000	7,52	60,17
IH1501 - ENCARREGADO DE TURMA				1,00000	42,78	42,78
Total						102,95
				ADC.M.O. FERRAMENTA		15,97
Producao da Equipe	70,000	TH		CUSTO HORARIO TOTAL		662,90
CUSTO UNITARIO DE EXECUCAO						9,47
Material	Unid	Custo.	Consumo	Custo Unitario		
USINAGEM DE CBUQ	M3	267,65	1,00000	267,65		
				0,00		
				0,00		
				0,00		
Total				267,65		
TRANSPORTE	DMT	CONSUMO	MOMENTO	CUSTO UNITARIO	CUSTO TOTAL	
USINAGEM DE CBUQ	85,00	1,00000	85,000000	0,50	42,50	
			0,000000		0,00	
			0,000000		0,00	
			0,000000		0,00	
Total					42,50	
Preco de Custo						319,62
Bonificacao						30,00%
Preco de Venda						415,51

Fonte: DNIT (2014)

Conforme observado nas figuras 6 e 7 o presente artigo tem como foco de comparar valores.

No asfalto-borracha não se limita apenas à comparação dos custos iniciais em relação ao asfalto convencional. Ao realizar essa avaliação comparativa, torna-se crucial abranger integralmente todo o ciclo de produção, aplicação e manutenção (GRECA, 2019).

Estudos foram conduzidos em estradas do Brasil visando a análise do investimento inicial na modificação do asfalto com borracha, englobando os custos do processo de fabricação e o custo total, viabilizando uma comparação com os custos de manutenção das estradas após alguns anos de utilização (RODRIGUES; PAES; SILVA, 2019).

O comparativo da figura 8 destaca não apenas o custo, mas também a qualidade do revestimento asfáltico convencional em contraste com o revestimento asfáltico modificado com borracha, proporcionando uma perspectiva abrangente do custo total da obra para ambos os tipos de revestimentos. Conforme é mostrado na figura 8.

FIGURA 8: Comparativo do revestimento convencional x revestimento asfalto-borracha

GRANDEZAS		CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO	
				CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA (ECOFLEX)
A	Quantidade de massa asfáltica CBUQ produzida		ton	26.250	18.375
B	Custo de Usinagem/ Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado		R\$ / ton	200,00	230,00
C	Quantidade de massa x Custo de Usinagem / Aplicação	AxB	R\$	5.250.000,00	4.226.250,00
D	Teor de Asfalto		% peso	5%	5,5%
E	Custo de asfalto por tonelada		R\$ / ton	1.150,00	1.550,00
F	Custo de asfalto no CBUQ	A x D x E	R\$	1.509.375,00	1.566.468,75
G	Custo total de obra	C + F	R\$	6.759.375,00	5.792.718,75

Fonte: GRECA ASFALTOS (2019)

A figura 9, exibe uma tabela contendo dados sobre os gastos associados à manutenção e implementação de misturas asfálticas.

Figura 9: Comparação de custos entre manutenção e execução de revestimento convencional e revestimento de asfalto-borracha

GRANDEZAS		CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO	
				CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA (ECOFLEX)
A	Execução do pavimento com preparo de base em extensão		m	200	200
B	Custo de execução do pavimento com preparo de base		R\$ / m ²	46,66	77,22
C	Manutenção do pavimento com preparo de base		R\$ / m ²	70%	10%
D	Custo geral da manutenção do pavimento		R\$ / m ²	67,30	67,30
E	Percentual de custo x manutenção do pavimento	C x D	R\$ / m ³	47,11	6,73
F	Custo de execução + manutenção do pavimento	B + E	R\$ / m ²	93,77	83,95

Fonte: ZATARINI (2017)

Foi conduzida uma análise de custo para uma restauração abrangendo 30 km, com um projeto que sugere a aplicação de uma camada de concreto asfáltico usando o ligante CAP-50/70, com espessura de 5 cm (ZATARINI, 2017).

Aqui está a figura 10 e 11, detalhando os orçamentos para um revestimento com asfalto-borracha.

Figura 10: Quantidade de massa asfáltica produzida.

REVESTIMENTO CONVENCIONAL	EM CBUQ	REVESTIMENTO EM CBUQ COM ASFALTO BORRACHA COM REDUÇÃO DE 30%
30.000m x 7,00m x 0,05m x 2,5 t/m ³ = 26.250 toneladas de massa asfáltica de CBUQ normal		30.000m x 7,00m x 0,035m x 2,5 t/m ³ = 18.375 toneladas de massa asfáltica de CBUQ com asfalto borracha

Fonte: GRECA ASFALTOS (2019)

Figura 11: Valor por tonelada para a produção de asfalto

CBUQ com CAP 50/70	R\$200,00 por tonelada
CBUQ com Asfalto borracha	R\$230,00 por tonelada

Fonte: GRECA ASFALTOS (2019).

Segundo a Greca Asfaltos (2019)

Pode-se perceber, portanto, que o custo de execução do asfalto borracha é aproximadamente 15% superior ao custo de execução do asfalto CBUQ convencional. Essa diferença de preço é atribuída aos gastos adicionais necessários para elevar as temperaturas de processamento da mistura asfáltica e melhorar a eficiência na compactação do revestimento.

Após análise dos dados, observa-se que o uso do asfalto-borracha traz vantagens significativas. Verificou-se que essa tecnologia permite uma redução de cerca de 30% na espessura necessária para o reforço, levando a uma diminuição de aproximadamente 14% no custo total da obra em comparação ao asfalto convencional. Além disso, esse tipo de pavimento demanda menos manutenção ao longo de sua vida útil. (SILVA, 2014).

6. Conclusão

A utilização de materiais frios na pavimentação de tráfego moderado, especialmente quando se considera o micro revestimento a frio e a incorporação de borracha de pneus no asfalto, revela um cenário promissor e abrangente no campo da engenharia viária. Essas abordagens oferecem uma gama de vantagens técnicas e econômicas que impactam positivamente a qualidade, durabilidade e o custo a longo prazo das vias pavimentadas.

A facilidade na produção, transporte e execução do micro revestimento a frio torna essa técnica uma opção viável para diversas cidades com limitações de recursos tecnológicos e financeiros. Essa abordagem, quando bem planejada e executada, não

só atua como camada de regularização e reforço da estrutura do pavimento, mas também se mostra eficaz como revestimento para rodovias de baixo e médio volume de tráfego, garantindo segurança, conforto e economia.

Por outro lado, a adição de borracha de pneus inservíveis ao asfalto convencional melhora suas propriedades técnicas, conferindo-lhe maior resistência, durabilidade e elasticidade. Embora o custo inicial de implantação do asfalto-borracha seja ligeiramente superior, os benefícios a longo prazo se revelam mais econômicos, com uma diminuição significativa dos custos de manutenção em comparação com o asfalto convencional. Além disso, a conscientização sobre o descarte apropriado de pneus usados se torna uma preocupação relevante, destacando a importância do estudo e enfatizando a possibilidade de investir em soluções sustentáveis.

Essas descobertas não apenas ressaltam as vantagens práticas e econômicas dos materiais frios na pavimentação, mas também abrem caminho para futuras pesquisas e inovações na aplicação do material a frio no contexto da pavimentação brasileira. Essa revisão destaca a necessidade de explorar ainda mais as características positivas da borracha na modificação do asfalto, buscando uma abordagem cada vez mais sustentável e consciente do impacto ambiental, criando um cenário promissor para o desenvolvimento e aprimoramento contínuo das técnicas de pavimentação no país.

7. REFERENCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a. _____. NBR.

AECWEB. **ASFALTO COM ADIÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS INUTILIZADOS**. Disponível em: [https:// www.aecweb.com.br/revista/materias/asfaltoborracha-garante-vias-mais-seguras-e-duraveis/15935](https://www.aecweb.com.br/revista/materias/asfaltoborracha-garante-vias-mais-seguras-e-duraveis/15935). Acesso em: 20 jul 2021.

AFLAKI, S.; MEMARZADEH, M. **Using two-way ANOVA and hypothesis test in evaluating crumb rubber modification (CRM) agitation effects on rheological properties of bitumen**. Constr. Build. Mater. 2011, 25, 2094–2106.

ALVES, Luan Correa de Macedo. ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DA BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS NA CIDADE DE CARATINGA-MG. 2013 FIC. Disponível em: <http://dspace.doctum.edu.br:8080/bitstream/123456789/1182/1/MONOGRAFIA%20A%20FAZER%20%282%29%20-%20PDF.pdf>. Acesso em: 20 jul 2021.

ALMEIDA, José Teodoro Meireles de. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.

Asphalt-rubber interaction and performance evaluation of rubberised asphalt binders containing non-foaming warm-mix additives. Road Mater. Pavement Des. 2020, 21, 1612– 1633.

BERNUCCI, LIEDI LÉGI BARIANI; MOTTA, LAURA MARIA GORETTI DA; CERATTI, JORGE AUGUSTO PEREIRA; SOARES, JORGE BARBOSA. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: FORMAÇÃO BÁSICA PARA ENGENHEIROS**. [S.L: S.N.], 2008.

BLOG 2 ENGENHEIROS: **Engenharia Ambiental e Divulgação Científica**. Disponível em: <http://2engenheiros.com/2017/04/28/por-que-voce-nao-deve-queimar-pneus/>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CERATTI, J. A. P; REIS, R. M. M. **Manual de Microrrevestimento Asfáltico a Frio – MRAF**. Instituto Pavimentar, 2011.

CHANG, M.; ZHANG, Y.; PEI, J.; ZHANG, J.; WANG, M.; HA, F. **Low-Temperature CNT – Confederação Nacional Dos Transportes**

CHRISTÓFANI MPH, et al. **Aspectos ambientais sobre pneus inservíveis**. Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística. Novembro: 7(1). 2017.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução nº 416**, 30 de setembro de 2009. Ministério do Meio Ambiente, 2009

DNIT 032/2004 – ES. **Pavimentos Flexíveis – Areia- Asfalto a quente**.

FAGUNDES. A. H. L. **Análise da viabilidade técnica da utilização da cinza pesada do bagaço da cana-de-açúcar em substituição parcial do agregado miúdo em microrrevestimento asfáltico a frio**. 2018. Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá. 2018]

FERNANDES LSS, et al. **O uso da borracha de pneu na produção de asfalto borracha: uma solução ambiental**. ri.ucsal.br. 2020.

FHWA. **Distress Identification Manual for the Long-term Pavement Performance Program**. 5. ed. Mclean, VA. 2019

GONÇALVES, PVS et al. **Logística reversa de pneus inservíveis: diagnóstico situacional com aplicação de matriz de indicadores de sustentabilidade nos municípios de Belém e Ananindeua, Pará**. Rev. Gestão e Tecnologia. 9(1): 165-181. 2019.

GONG, F.; GUO, S.; CHEN, S.; YOU, Z.; LIU, Y.; DAI, Q. **Strength and durability of dry-processed stone matrix asphalt containing cement pre-coated scrap tire rubber particles**. Constr. Build. Mater. 2019, v. 214, p. 475–483.

GRECA ASFALTOS. **Portfólio de produtos**. [2019]. 36 p. Disponível em: <https://www.grecaasfaltos.com.br/wp-content/conteudos/catalogo-produtos-greca-asfaltos-.web>.

LEAL, E. A. **A contribuição da logística reversa de pneumáticos para a sustentabilidade ambiental**. RACE: Unoesc, v.12, n.2, p.339-370, jul./dez. 2005.

LIEDI; BARIANI; BERNUCCI... [et al.]. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**, Rio de Janeiro: PETROBRAS: Abeda, 2006.

MEDINA, J., 1997, **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ

MOURA, Rita Fortes. ASFALTO BORRACHA: VANTAGENS E DESVANTAGENS. Evento: Workshop: A economia de energia na pavimentação asfáltica. 14 de out 2014. Disponível em: https://www.academia.edu/31110170/ASFALTO_BORRACHA_VANTAGENS_E_DESVANTAGENS. Acesso em: 18 jul 2021.

RESOLUÇÃO CONAMA 416, DE 30 DE SETEMBRO DE 2009. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>. Acesso em: 12 jul 2021.

RODRIGUES, B. S.; PAES, H. V.; SILVA, E. R., da. **Análise do Asfalto Borracha na Pavimentação no Brasil: Uma revisão de literatura**. 2019.

Rheological Properties and Microscopic Characterization of Asphalt Rubbers Containing Heterogeneous Crumb Rubbers. *Materials*, 13, 4120, 2020.

SILVA, José Eudes Marinho. **Pavimentos de concreto: histórico, tipos e modelos de fadiga**. 2014. Disponível em: http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_tri_2014/RMCT_012_E2C_11.pdf.

SMITH; BELTTY., William D.; RETHWISCH, David G.; **Ciência e engenharia de matérias: uma introdução**. 10th ed. New York: Wiley, 1999.

VENESCAU. R. **Micro Revestimento Asfáltico Usinado à Frio – MRUF**. Engenharia Rodoviária: teoria e aplicação. 2023.

ZATARINI. **Reciclagem a frio: Tecnologia de reciclagem a frio Wirtgen**. Windhagen, Alemanha, 2017.

WANG, Xudong; JIANG, Yi; JIANG, JIARONG et al. **Life cycle assessment of crumb rubber modified asphalt pavement: A case study in China**. *Journal of Cleaner Production*, v. 255, p. 120296, 2020.

