

RECICLAGEM DE MISTURAS ÁSFÁTICAS PARA USO EM ESTRADAS VICINAIS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.III-005>

Joel Carlos Moizinho*, Nick Wesley dos Santos Level Silva

* Universidade Federal de Roraima, joel.moizinho@ufr.br

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo investigar a viabilidade da reciclagem de misturas asfálticas (RAP), por meio da comparação entre corpos de prova confeccionados com amostras naturais e corpos de prova com adição de 1% de CAP (cimento asfáltico de petróleo). Com a amostra fresada natural obtida em campo, foram realizados ensaios Rotarêx e granulometria, a fim de fazer uma análise da composição original da mistura. Posteriormente, após a confecção tanto dos corpos de prova naturais quanto dos corpos de prova com adição de 1% de CAP, foram realizados os ensaios de Cântabro, resistência à tração, estabilidade e fluência. Esses ensaios foram conduzidos para avaliar o desempenho das misturas asfálticas recicladas, considerando as especificações estabelecidas pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). Os resultados obtidos revelaram uma melhora no desempenho dos corpos de prova reciclados com adição de CAP, em comparação com as misturas asfálticas naturais. Essa melhoria pode ser atribuída à adição de 1% de CAP, que demonstrou proporcionar melhora nas propriedades físicas e mecânicas das misturas recicladas. Com base nos resultados deste estudo, conclui-se que a reciclagem de misturas asfálticas, quando realizada com a adição adequada de CAP, possui potencial para aprimorar a qualidade e a durabilidade das vias pavimentadas. Além disso, essa prática contribui para a redução dos impactos ambientais associados à extração e produção de materiais virgens para a construção de estradas. Esses resultados destacam a importância de considerar a reciclagem de misturas asfálticas como uma alternativa viável e sustentável para a manutenção e reabilitação de pavimentos rodoviários, principalmente de estradas vicinais, contribuindo para a preservação dos recursos naturais e a promoção do desenvolvimento sustentável no setor de infraestrutura de transporte.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem de misturas, Estradas vicinais, Concreto asfáltico, RAP.

INTRODUÇÃO

Dados da Confederação nacional de transporte (CNT, 2022) mostraram que, 55,5% da malha pavimentada brasileira apresentam patologias. Estes resultados são desfavoráveis aos transportadores e aos demais usuários, visto que circular em rodovias em condições inadequadas pode trazer graves riscos à segurança, além de custos adicionais de operação, como manutenção frequente do veículo e aumento do tempo de viagem e do consumo de combustível. Empresas do transporte rodoviário de cargas podem ter um acréscimo de, em média, 33,1% no custo operacional que teriam caso as rodovias estivessem em estado Ótimo.

Essas condições inadequadas ocasionam, ainda, danos ambientais e à saúde, pois propiciam o aumento de emissões de gases de efeito estufa. Além disso, representam um custo de, aproximadamente, R\$ 4,89 bilhões para os transportadores de cargas e de passageiros no Brasil, uma vez que se estima um consumo adicional e desnecessário de 1,072 bilhão de litros de diesel. Assim, os resultados da Pesquisa CNT de Rodovias 2022 demonstram a urgência de estruturação de ações voltadas à melhoria das rodovias brasileiras. O estudo indica a necessidade imediata de R\$ 48 bilhões para manutenção e de mais R\$ 566,6 bilhões em obras de ampliação e modernização da infraestrutura rodoviária (rodovias e mobilidade urbana) do país.

Com o estudo feito pela confederação Nacional do Transporte, é possível compreender que, além de bastante dispendioso, as recuperações nos pavimentos irão gerar enormes quantidades de resíduos asfálticos. Dessa forma, a engenharia enfrenta os desafios de reduzir os custos de reparo e estabelecer um destino para esses resíduos, buscando minimizar seu impacto no meio ambiente, uma prática já adotada por engenheiros em outros países.

A situação atual dos revestimentos asfálticos brasileiros evidencia a necessidade de estudos na área de reciclagem de pavimentos. Apesar do aumento significativo de pesquisas em outros países, ainda são incipientes pesquisas científica ou comerciais atuantes nesse campo no Brasil. Visando encontrar o melhor enfoque para a mistura asfáltica reciclada é preciso ter conhecimento sobre as principais utilizações da malha rodoviária nacional e desta forma avaliar o tipo de tráfego local e direcionar as pesquisas de forma adequada visando o lado técnico e a econômico.

O Brasil é um país com diferentes climas e solos em seus diversos Estados e Municípios, criando assim uma região propícia para a produção de diferentes culturas, entre a criação de gados, peixes, grãos, frutas, desenvolvimento industrial etc. Com uma vasta produção agrícola, o Brasil se utiliza bastante da malha rodoviária para escoamento de

produtos, porém, nem todos os focos de produtos agrícolas estão situados nas proximidades de rodovias estaduais, o que faz com que os produtos sejam escoados muitas vezes por vicinais até que cheguem às estradas principais. Ademais, as vicinais brasileira têm um papel social de extrema importância, uma vez que são responsáveis pela comunicação entre diversas comunidades e vilarejos. O material fresado do pavimento, pode ser uma alternativa de aproveitamento para essas vias.

Portanto, é possível deduzir que, a reutilização de concreto asfáltico dos revestimentos de rodovias reverterá em benefícios sociais, políticos e econômicos para o País, além do impacto positivo direto no meio ambiente, mitigando danos, sobretudo na redução de exploração de solos, trazendo também contribuição científica no campo da pavimentação.

OBJETIVO GERAL

Avaliar a potencialidade do uso de misturas asfálticas recicladas em estradas vicinais

DESENVOLVIMENTO

Entende-se por reciclagem de pavimentos o processo de reutilização de misturas asfálticas envelhecidas e deterioradas para produção de novas misturas, aproveitando os agregados e ligantes remanescentes, provenientes da fresagem, com acréscimo de agentes rejuvenescedores, espuma de asfalto, CAP ou EAP novos, quando necessários, e com adição de aglomerantes hidráulicos.

Normalmente os agregados de uma mistura envelhecida mantêm as suas características físicas e de resistência mecânica intactas, enquanto o ligante asfáltico tem suas características alteradas, tornando-se mais viscoso nessa condição. É possível reaproveitar totalmente o material triturado ou cortado pelas fresadoras e recuperar as características do ligante com a adição de agentes de reciclagem ou rejuvenescedores. (ABGE, 2019).

A reciclagem pode ser efetuada de duas maneiras:

- A quente: utiliza-se CAP, agente rejuvenescedor (AR) e agregados fresados aquecidos.
- A frio: Utiliza-se EAP, agente rejuvenescedor (ARE) e agregados fresados à temperatura ambiente.

Pode ser realizada das seguintes maneiras

- Usina: a quente ou a frio – o material fresado é levado para a usina;
- “*in situ*”, a quente ou a frio – o material fresado é misturado com ligante no próprio local do corte, seja a quente (CAP), seja a frio (EAP) por equipamento especialmente concebido para essa finalidade;
- “*in situ*”, com espuma de asfalto. Nesse caso pode ser incorporada ao revestimento antigo uma parte da base, com ou sem adição de ligantes hidráulicos, formando uma nova base que será revestida de nova mistura asfáltica como camada de rolamento.

ALGUMAS PESQUISAS COM RECICLAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Canchanya (2017) estudou o desempenho mecânico e reológico de uma mistura asfáltica com adição de um material fresado (RAP) bem como o seu desempenho quanto à deformação permanente e fadiga. O autor definiu uma mistura convencional de referência e a partir dela adicionou uma porcentagem de 20% de RAP em substituição ao agregado virgem. Por fim, o autor conclui que a mistura com 20% de RAP tem desempenho superior para alguns parâmetros em relação à mistura de referência desenvolvida por Melo (2014).

David (2006) verificou o comportamento mecânico de misturas asfálticas recicladas a frio, através de ensaios de módulos de resiliência e resistência à tração por compressão diametral, para utilizá-lo como camada de base na restauração de pavimentos. As misturas asfálticas foram produzidas com material fresado proveniente de revestimentos asfálticos envelhecidos e com dois tipos de ligantes, emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta RL-1c e agente de reciclagem emulsionado ARE-75. A autora avaliou ainda o comportamento dessas misturas quando um agregado novo foi adicionado. Foram realizados ensaios de caracterização dos ligantes, do material fresado e do agregado virgem e as misturas foram estudadas através do método Marshall para misturas asfálticas a frio. A autora concluiu que as misturas asfálticas analisadas apresentam comportamento semelhante ao que se tem obtido para as misturas asfálticas recicladas a frio.

Pessoni (2021) faz um estudo com o objetivo de criar um rol de informações a respeito da técnica de reutilização do material fresado com foco na aplicação em camadas granulares. O autor analisou 41 pesquisas sobre o uso do RAP em camadas granulares e concluiu que apesar da variação do uso, há diversas vantagens em usar o resíduo incorporado nas camadas granulares de pavimentos flexíveis. Ao final o autor produziu um compilado de informações importantes que poderão auxiliar pesquisas futuras dentro do tema.

Silva (2011) estudou os efeitos de produtos rejuvenescedores no comportamento de misturas asfálticas utilizando material fresado de revestimento asfáltico envelhecido, visando sua aplicação em reciclagem de revestimentos de pavimentos rodoviários. Para tanto, o autor realizou ensaios de laboratório no material fresado e posteriormente extraiu o ligante residual para conhecimento de suas características físicas, químicas e reológicas, de modo a determinar o grau de deterioração do material. Em seguida, adicionou ao ligante residual rejuvenescedores a base de alcatrão e outros a base de óleo e xisto em determinadas proporções para testar qual seria a melhor para recuperar as características do ligante.

Ainda segundo Silva (2011), foram confeccionados corpos de prova utilizando material fresado e ligantes rejuvenescedores, avaliando por meio de ensaios de laboratório suas propriedades mecânicas. Por fim, foram feitas algumas simulações numéricas com a utilização do programa KENLAYER, para verificar o comportamento estrutural de diversas misturas recicladas. O autor concluiu que as misturas contendo 20% de AR-5 apresenta o melhor comportamento quando comparado a uma mistura nova tipo CBUQ, portanto a reciclagem de material fresado utilizando rejuvenescedores é uma solução técnica possível e ambientalmente correta para a pavimentação.

Filho (2009) analisou, em seu trabalho, a eficiência na extração do CAP (cimento asfáltico de petróleo) de misturas provenientes de fresagem asfáltica, utilizando solventes comerciais e microemulsões. As microemulsões foram utilizadas para extrair o CAP da mistura betuminosa através de processo físico-químico a frio, e logo após foi realizada análise de concentração de CAP na solução através de espectroscopia. Após análises laboratoriais, o autor concluiu que microemulsões elaboradas com baixa concentração de querosene e do binário butanol/OCS tem grande poder de extração de CAP, sua eficiência foi maior do que o querosene puro, alcançando a taxa de 95% de extração.

METODOLOGIA

Foi usado na pesquisa material oriundo da demolição de pavimento asfáltico, denominado (RAP) da cidade de Boa Vista, estado de Roraima e coletado na Universidade Federal de Roraima, via Insikiran. O material foi constituído de mistura de agregados graúdos, miúdos, filer e cimento asfáltico de petróleo (CAP). Toda pesquisa foi desenvolvida no laboratório de pavimentação da UFRR. A figura 1 mostra aspecto do material fresado.



(a)



(b)

Figura 1 a e b: material (RAP) utilizado na pesquisa.

A tabela 1 mostra em suma os ensaios realizados, suas respectivas normas e quantas amostras (CPs) foram utilizados.

Tabela 1. Tipo de ensaio e quantidade de amostras pesquisadas

ENSAIO	NORMA	Nº DE CPS/AMOSTRAS
ROTARÉX	DNER-ME 053/94	2
GRANULOMETRIA	DNER-ME 083/98	2
CANTABRO	DNER-ME 383/99	8
RT	DNIT 136/2018 - ME	8
MARSHALL	DNER-ME 043/95	10

Com a mistura asfáltica coletada foram pesados 2 (duas) amostras de 1200g para realizar os ensaios de extração de betume (rotaréx) e análise granulométrica dos agregados, recompondo, por retro análise o traço original e determinando a porcentagem de cimento asfáltico (CAP) usado na pesquisa.

Foi adicionado 1% de CAP (cimento asfáltico de petróleo), com o intuito de rejuvenescer a mistura. Com o novo material, foram realizados os ensaios de determinação dos parâmetros volumétricos que são a densidade, o volume de vazios e a relação betume vazios (RBV), além da estabilidade e fluência do concreto asfáltico.

Foram comparados os resultados da mistura asfáltica original com os resultados das misturas com adição da de ligante asfáltico. Todos os resultados foram confrontados com as especificações do DNIT (2006). Além do estudo da dosagem Marshall, foram avaliadas características físicas dos agregados, tais como: massa específica real, aparente e absorção

A Figura 2 apresenta os diversos equipamentos usados na pesquisa e mostra aspecto do material sendo preparado para realização dos ensaios mencionados na Tabela 1.



(a) Amostra para extração de ligante

(b) Extração de ligante - Rotaréx



(c) Amostra no Rotaréx



(d) Secagem da amostra após rotaréx



(e) Mistura asfáltica



(f) Prensa computadorizada – Estabilidade e tração

Figura 2 a, b, c, d, e, f: Etapas dos principais ensaios realizados

RESULTADOS

Ensaio Rotarex

Para determinação da composição granulométrica e teor de ligante na mistura asfáltica, coletada diretamente no campo, quando da fresagem da capa asfáltica, foram realizadas duas extrações de ligante asfálticos, em duas amostras de massas iniciais conhecidas, utilizando o equipamento rotaréx. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos.

Tabela 2: Resultados do ensaio rotarêx

Ensaio Rotarêx				
Amostra	Massa da amostra (g)	Massa após extração (g)	Massa do ligante obtida por retroanálise (g)	% do ligante extraído
1	1186,9	1129	57,9	4,878
2	1185,5	1126,4	59,1	4,985
Média				≈ 5%

Após extração do ligante e secagem dos materiais foi realizado a análise granulométrica dos agregados usados na mistura asfáltica. Os resultados apresentados na Tabela 3 representam a média de duas determinações.

Tabela 3: Retro análise da granulometria da mistura asfáltica

Massa peneiras [g]	Diâmetro [mm]	massa retida [g]	Massa retida acumulada (g)	% retida acumulada	% em massa passando	Limite Inferior Faixa C	Limite Superior faixa C
528,5	9,5	747,4	747,40	21,8%	78,2%	70%	90%
552,54	4,8	706,16	1453,56	42,5%	57,5%	44%	72%
519,5	2	486,2	1939,76	56,7%	43,3%	22%	50%
433,82	0,42	811,08	2750,84	80,4%	19,6%	8%	26%
328,16	0,18	414,74	3165,58	92,5%	7,5%	4%	16%
289,1	0,075	139,9	3305,48	96,6%	3,4%	2%	10%

Os resultados mostrados nas Tabela 2 e 3, apontam para uma composição granulométrica de agregados na faixa C de acordo com a especificação de serviço do DNIT ES 031(2006) e um teor de ligante asfáltico de 5%.

Caracterização física dos agregados e ligante asfáltico usados na pesquisa

A Tabela 4 apresenta um resumo da caracterização física dos agregados graúdos (brita), miúdos (areia), filer (cimento) e ligante asfáltico CAP50/70.

Tabela 4: Caracterização física dos materiais usados na pesquisa

Ensaio	Resultado
Absorção (%)	0,66
Massa específica aparente (kN/m^3)	2,67
Massa específica real brita (kN/m^3)	2,70
Massa específica real areia (kN/m^3)	2,57
Massa específica real cimento (kN/m^3)	2,80
Massa específica CAP (kN/m^3)	1,02

Observou-se na composição gravimétrica que os agregados graúdos apresentavam diferentes tipos, sendo uma mistura de seixos, basaltos e granitos, o que não é o usual em misturas asfálticas. Fato que pode comprometer o seu desempenho e contribuir para redução de sua vida útil, podendo o pavimento apresentar fadiga e deformações de forma precoce.

Ensaio com as misturas asfálticas fresadas natural e após adição de 1% de ligante asfáltico.

Ensaio Marshall

A Tabela 5 mostra o resumo com os principais resultados obtidos e os limites preconizados pela ES 031(2006) do DNIT, sobre as limitações aceitáveis para cada parâmetro determinado.

Tabela 5: Resumo da dosagem Marshall das misturas com e sem aditivo

Ensaio Marshall	CP Natural	CP com aditivo	ES 031:2006 DNIT
Estabilidade (kgf)	2498	2921	Maior que 500
Fluência (mm)	4,4	4,1	4 – 6
Volume de vazios	5,2	3,2	3 -5
Relação Betume Vazios – RBV (%)	68,7	81	75 – 82
Densidade aparente	2,31	2,35	-

De acordo com os dados, apresentados nas Tabela 5 foi possível observar que a mistura reciclada sem adição de ligante apresentou valor de estabilidade de 2498kgf, valor superior ao mínimo recomendado pela ES 031 (2006) DNIT. A fluência se encontrou dentro das limitações aceitáveis, muito embora, segundo a especificação citada, esse não é um fator determinante para a aprovação da mistura. Percebe-se ao analisar os dados que o volume de vazios estava na faixa de 5,2 % e a relação betume vazios, conhecida no mundo da pavimentação como RBV se encontrava a 68,7%, portanto, o volume de vazios e a RBV não satisfazendo as exigências do DNIT, conforme limites mostrados na Tabela 5.

Para a mistura do material fresado com adição de 1% de ligante foi obtida estabilidade e fluência, respectivamente de 2921kgf e 4,1mm, além de volume de vazios 3,2% e RBV de 81%. Observa-se uma melhora no comportamento mecânico e nos parâmetros volumétricos. A mistura com aditivo atendeu a todas as exigências do DNIT referente a sua ES 031 (2006).

Ensaio resistência à tração

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração diametral, com amostras da mistura fresada com adição (CPAD) e sem adição de ligante asfáltico (CPN).

Tabela 6: Resistência à tração das misturas pesquisadas

Ensaio de Resistência a tração		
CP	RT CPN (MPa)	RT CPAD (MPa)
1	1,21	1,2
2	1,16	1,21
3	1,28	1,22
4	1,17	1,12
média	1,21	1,19

A resistência à tração por compressão diametral (RT), já faz parte de algumas especificações de misturas asfálticas. A norma DNIT-ES 031 (2006) especifica o valor mínimo de RT igual a 0,65 MPa para concretos asfálticos. Conforme a Tabela 6, todos os resultados obtidos foram superiores ao mínimo exigido pelo DNIT, observa-se também que a adição de ligante diminuiu a resistência à tração, o que era de se esperar. Assim como a estabilidade, a resistência a tração é afetada, dentre outros fatores, pela quantidade de ligante na mistura, em excesso, essa passa a atuar como agente lubrificante, diminuindo a resistência da mistura.

Ensaio de Desgaste Cântabro

A Figura 3 mostra o desgaste Cântabro médio sofrido pelos corpos das misturas fresadas natural e com adição de ligante.



ENSAIO CANTABRO

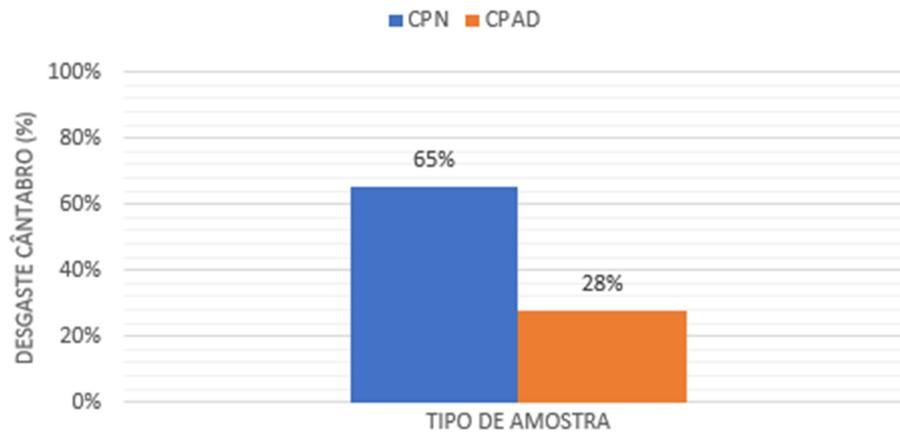


Figura 3: Resultado do ensaio Cântabro para as misturas pesquisadas

A norma DNIT-ES 031 (2006) não especifica valores de referência para o ensaio Cântabro, no entanto o ensaio foi originado para analisar a resistência à degradação de misturas asfálticas drenantes ou porosas, para essas misturas o limite tolerável é de 25%. Apesar de o ensaio não ser específico para misturas asfálticas densa, caso desta pesquisa, o ensaio Cântabro sugere a correção no teor de asfalto da mistura de modo a garantir maior coesão e aderência dos agregados.

CONCLUSÕES

A retro análise da mistura fresada pesquisada apresentou a seguinte composição: 54,2% de agregado graúdo; 37,6% de agregado miúdo, 3,2% de filer e 5,0% de ligante asfáltico.

O material fresado mostrou ser oriundo de uma mistura asfáltica do tipo densa, cujo enquadramento granulométrico deu-se na faixa C proposta pelo DNIT.

A mistura fresada natural apresentou elevada estabilidade, fluência e resistência à tração dentro dos limites aceitáveis pela ES 031 (2006) do DNIT. O volume de vazios e a relação betume vazios, não atenderam a citada especificação.

A mistura fresada com adição de 1% de ligante asfáltico, apresentou parâmetros Marshall (volume de vazios, RBV, densidade), estabilidade, fluência e resistência à tração compatíveis com os exigidos pela ES 031 (2006) do DNIT.

Houve uma diminuição significativa no desgaste Cântabro da mistura fresada com adição de 1% de CAP em relação a mistura fresada natural. O envolvimento das partículas por uma quantidade maior de ligante, protege os agregados do choque no ensaio, mantendo uma coesão maior da mistura.

A pesquisa mostrou o potencial do reuso de misturas asfálticas fresadas para pavimentação, qualquer que seja o tipo de tráfego.

Em suma, os resultados positivos dos ensaios sobre reciclagem de misturas asfálticas confirmam sua viabilidade técnica e vantagens socioeconômicas e ambientais. Esses avanços científicos e tecnológicos têm o potencial de transformar a indústria da pavimentação, promovendo uma abordagem mais sustentável e eficiente na construção e manutenção de rodovias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. Estradas Vicinais de Terra: Manual Técnico para Conservação e Recuperação. 3 ed. São Paulo, 178p. 2019.

2. Canchanya, J.P. Avaliação do comportamento mecânico reológico de misturas asfálticas com adição de 20% de material fresado. Dissertação de mestrado. UFSC. 2017.
3. Confederação Nacional de Transportes – CNT. Disponível em: <http://www.cnt.org.br> Acesso em: 15 de março de 2023
4. David, Daniela. Misturas Asfálticas Recicladas a Frio: Estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado. Porto Alegre. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006
5. Departamento Nacional de Infraestrutura Em Transportes – DNIT. Manual do DNIT. Rio de Janeiro, 2006.
6. Departamento Nacional de Infraestrutura Em Transportes – DNIT. Especificação de Serviço ES 031:2006. Rio de Janeiro, 2006.
7. Filho, Helker Hiluey Agra. Influência da Redução das Temperaturas de Usinagem e Compactação em Misturas Asfálticas com Cera de Carnáuba. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. Campina Grande. 2009.
8. Personi, H.R. Utilização de material fresado na composição de camadas granulares de pavimentos flexíveis. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia de Transportes. UFG. Aparecida de Goiânia, 300p, 2021.
9. Silva, Carlos Filipe Santos Correia. Reutilização do resíduo oriundo dos serviços de restauração asfáltica como material alternativo em camadas de pavimentos flexíveis. Trabalho de Conclusão de Curso. Ijuí, Rio Grande do Sul, 2012.