



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A FRIO DOSADAS COM 100% DE RAP E EMULSÕES ASFÁLTICAS CONVECIONAL E MODIFICADA

*Vitor Andrade Farias¹; Mario Sergio de Souza Almeida¹; Vitor Calmon Almeida¹;
Paulo Ricardo Lemos de Santana²; Elane Donato Santos² & Weiner Gustavo Silva Costa¹*

RESUMO

A fresagem de pavimentos asfálticos desempenha um papel crucial na manutenção e reabilitação de rodovias, removendo a camada superficial desgastada de asfalto. O processo de fresagem do revestimento asfáltico envelhecido gera o RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), resíduo de grande potencial para ser reciclado. Este material está se tornando cada vez mais utilizado na Engenharia Rodoviária, sendo uma opção promissora para que se tenha obras viárias cada vez mais econômicas e sustentáveis. Dessa forma, o presente estudo produziu misturas asfálticas a frio recicladas, utilizando 100% de RAP, testadas com diferentes teores de emulsão convencional (RL-1C) e modificada por polímero elastomérico (RC-1C-E), com o objetivo de avaliar a influência de cada um destes ligantes no comportamento na resistência, deformabilidade e volumetria das misturas. As misturas foram produzidas de acordo com as prescrições exigidas através do método de dosagem Marshall, para uma energia de compactação de 50 golpes para cada face do corpo de prova, e posteriormente ensaiadas para determinação da estabilidade, fluência e volumetria para cada teor de ligante que foi avaliado neste estudo. Os resultados obtidos indicaram que o ligante modificado por polímero elastomérico permitiu a redução do teor de projeto, sem prejuízo da mistura asfáltica em termos de comportamento mecânico.

PALAVRAS-CHAVE: Fresagem; PMF reciclado; Dosagem Marshall; Comportamento mecânico.

ABSTRACT

Milling asphalt pavements plays a crucial role in the maintenance and rehabilitation of roads and highways, removing the worn-out surface layer of asphalt. The milling process of aged asphalt coating generates RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), a residue with great potential for recycling. This material is becoming increasingly used in Road Engineering, being a promising option for making road works more economical and sustainable. Thus, the present study produced recycled cold asphalt mixtures using 100% RAP, tested with different contents of conventional emulsion (RL-1C) and polymer-modified elastomeric emulsion (RC-1C-E), with the aim of evaluating the influence of each of these binders on the resistance, deformability, and volumetrics of the mixtures. The mixtures were produced according to prescribed specifications using the Marshall mix design method, for a compaction energy of 50 blows for each face of the specimen, and subsequently tested to determine stability, flow, and volumetrics for each binder content evaluated in this study. The results obtained indicated that the polymer-modified elastomeric binder allowed for a reduction in the design content without compromising the asphalt mixture in terms of mechanical behavior.

KEY WORDS: Milling; Recycled Cold Mix Asphalt; Marshall mix design; Mechanical behavior.

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Av. Rui Barbosa, 710, 44380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brasil, vitorandrade@aluno.ufrb.edu.br; mario.almeida@ufrb.edu.br; vitorcalmon@aluno.ufrb.edu.br; weiner@ufrb.edu.br.

² Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Av. Transnordestina, s/n, Novo Horizonte, 44036-900, Feira de Santana, Bahia, Brasil, ricardolemos@aluno.ufrb.edu.br; elanedonato@aluno.ufrb.edu.br.



INTRODUÇÃO

Os meios de transportes são fundamentais no desenvolvimento econômico, cultural e social da humanidade desde as primeiras civilizações. Segundo Pereira (2011), no início do século XXI, o Brasil começou a importar carros dos Estados Unidos, o que auxiliou na ocupação de áreas remotas. Entretanto, esses veículos não podiam alcançar todos os lugares levando à necessidade de se construir estradas, impulsionando assim o transporte rodoviário nacional e criando oportunidades econômicas.

O Brasil possui uma frota de veículos que passou de 31.913.003 em 2001 para 118.827.435 unidades em 2023 (CNT, 2023). Esse volume de automóveis em circulação no território implica diretamente no uso de rodovias e, conseqüentemente, no desgaste e eventual colapso das mesmas, sendo necessárias intervenções para manutenções cada vez mais breves, a fim de manter as estradas em condições seguras para o tráfego.

Nas rodovias pavimentadas brasileiras, que representam 12,3% do total (CNT, 2023), o tipo de pavimento predominante é o pavimento asfáltico, que possui custos elevados para implementação. Segundo Bernucci *et al.* (2008) a mistura asfáltica usinada mais empregada no país é o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). Para execução desse tipo de obra de infraestrutura é comumente necessário o uso de agregados virgens (britas e finos), cimento asfáltico de petróleo (CAP) para CBUQ, ou emulsão asfáltica de petróleo (EAP) para pré-misturados a frio (PMF). Ademais disso, deve-se levar em conta os custos de energia para transporte dos materiais e produção das misturas asfálticas.

Segundo Moosom (2022), o rápido esgotamento, o declínio da qualidade das fontes de agregados e o aumento do preço do asfalto, motivaram a indústria da construção a procurar por soluções alternativas para reduzir os custos de produção e racionalização dos materiais. Dessa forma, a mistura asfáltica envelhecida, obtida no processo de fresagem de pavimentos deteriorados, nomeada de RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), surge como um substituto eficiente dos agregados virgens em novas misturas asfálticas, reduzindo a exploração de jazidas de matéria prima não renovável e o uso de ligante asfáltico nas misturas (MILAD, 2020).

De acordo com Castro Neto (2000), uma das primeiras experiências com o uso de material fresado no Brasil ocorreu em 1986, na rodovia Anhanguera, onde uma mistura contendo 50% de RAP foi aplicada no revestimento da camada de rolamento. Mesmo após 14 anos de uso, a rodovia ainda apresentava excelentes condições. Desde então, há poucos registros documentados sobre a incorporação de RAP em misturas asfálticas no país. Conforme Suzuki (2019), a falta de regulamentações rigorosas e a ausência de diretrizes técnicas apropriadas para o uso eficaz e controle tecnológico de projetos com asfalto reciclado (RAP) são fatores cruciais que desencorajam sua aplicação em obras rodoviárias.

Unger Filho *et al.* (2020) examinaram a viabilidade de aplicar uma mistura asfáltica reciclada a frio, utilizando 100% de RAP e um agente emulsificado reciclador de asfalto, como uma nova camada de base de pavimento. Testes laboratoriais foram conduzidos para avaliar a rigidez e a resistência da mistura reciclada, através de ensaios de módulo de resiliência e resistência à tração indireta. Esses testes foram realizados para investigar o impacto do tempo de armazenamento (7, 14 e 28 dias) entre a preparação da mistura e sua compactação. Os resultados indicaram que, para períodos curtos de cura, o tempo de armazenamento contribuiu para melhorar as propriedades mecânicas das misturas recicladas a frio.



Ferreira Filho (2018), realizou o estudo de misturas betuminosas a frio com emulsão de ruptura lenta (RL-1C), onde foram dosadas e compactadas misturas com 100% de RAP e outras com 100% de agregados virgens, em diferentes teores de emulsão. Com os resultados de estabilidade, fluência, volume de vazios e densidade, foi estabelecido o teor de projeto de 5,4% de ligante para as misturas com agregado virgem, já nas misturas com a incorporação de RAP este teor foi de 3,4% indicando a redução significativa de emulsão asfáltica entre as misturas.

Machado (2018) analisou o comportamento mecânico de PMF densos com emulsão asfáltica convencional e modificada por polímero. O teor de projeto definido após os ensaios iniciais foi de 7,0% para as misturas com emulsão asfáltica convencional e 6,5% para as misturas com emulsão asfáltica modificada por polímero. De posse dos resultados, foi possível observar o desempenho superior da emulsão modificada, com um aumento de 32,3% da estabilidade, 6,1% de resistência a tração e redução de 9,4% da fluência.

Uma característica relevante das misturas a frio é a influência do tempo nas suas propriedades mecânicas. Pedreira (2021) desenvolveu o estudo com a finalidade de avaliar o comportamento mecânico de uma mistura asfáltica fabricada em uma usina de pequeno porte compactadas após 1, 7, 15, 30 e 60 dias de produzidas. Com isso, foi possível constatar que o PMF apresenta uma perda de umidade ao longo do tempo de estocagem, o que resulta em uma redução da estabilidade, fluência e resistência a tração e aumento do volume de vazios. Para o traço foi utilizado o teor de 4,8% de CAP residual, correspondendo a 8% de emulsão asfáltica, que apresentou uma queda de 319 kgf (1 dia) para 89 kgf (60 dias) para a energia de compactação de 50 golpes. Já o volume de vazios apresentou um aumento de 7,1 pontos percentuais entre a idade mínima e máxima de estocagem analisada.

Diante ao exposto, o objetivo deste estudo foi desenvolver misturas asfálticas recicladas a frio, empregando 100% de material fresado com emulsão asfáltica convencional (RL-1C) e emulsão asfáltica modificada por polímero elastomérico (RC-1C-E). Com os resultados obtidos, almeja-se conduzir uma análise preliminar sobre o desempenho mecânico e volumétrico dessas diferentes composições, com o intuito de examinar o impacto das duas emulsões asfálticas nas propriedades da mistura reciclada a frio.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes realizados no presente trabalho envolveram a análise do comportamento mecânico de misturas asfálticas a frio, utilizando 100% de material fresado (RAP) como agregado em sua composição, para diferentes emulsões asfálticas. O RAP utilizado é oriundo do reparo do pavimento de um trecho da BR 101/BA, que após fresado, parte foi depositada no Laboratório de Pavimentação localizado no pavilhão de engenharias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

Caracterização do Agregado (RAP)

As amostras de RAP coletadas foram passadas pela peneira de 19 mm (3/4") para descartar a parcela da amostra de graduação superior e garantir o diâmetro máximo do material, para a realização dos ensaios. As amostras foram dispostas sobre uma lona plástica para secagem ao ar, alcançando assim sua umidade higroscópica. Após a secagem, uma parte do material foi separada e



quarteada utilizando o separador mecânico (HELNOR) para agregados graúdos, Figura 1, conforme o método descrito no PRO DNER 199 (DNER, 1996).



Figura 1. (a) Separador mecânico; (b) Coleta do RAP.

A caracterização do RAP iniciou com a análise de sua granulometria em triplicata, em conformidade com as especificações do ME DNIT 412 (DNIT, 2019), resultados apresentados na Tabela 1. Em seguida, para determinar a densidade, massa específica e absorção, as amostras foram ensaiadas de acordo com o normativo ME DNIT 413 (DNIT, 2021), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 1. Granulometria do RAP (BR 101/BA).

Peneiras		RAP
Abertura (pol.)	Abertura (mm)	Passante (%)
1"	25,0	100,00
3/4"	19,0	100,00
1/2"	12,5	87,93
3/8"	9,5	71,78
n° 4	4,75	39,56
n° 10	2,0	18,28
n° 200	0,075	0,43

Tabela 2. Densidade e absorção do RAP (BR 101/BA).

Ensaio	Resultados
Densidade Relativa Real	2,541
Densidade Relativa Aparente	2,428
Massa Específica Real (g/cm ³)	2,534
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	2,421
Absorção (%)	1,84

Por se tratar de um material reciclado, que já incorpora ligante asfáltico, foram realizados os ensaios de extração do CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) envelhecido para identificar o teor de ligante existente no RAP, Tabela 3, e comparar as curvas granulométricas antes e após a extração.



O procedimento para realização do ensaio seguiu dois métodos, sendo eles: extração de ligante via extrator Soxhlet ME e via método do Rotarex, conforme as normas DNIT 158 (DNIT, 2011) e ME DNER 053 (DNER, 1994), respectivamente, como apresentado na Figura 2.

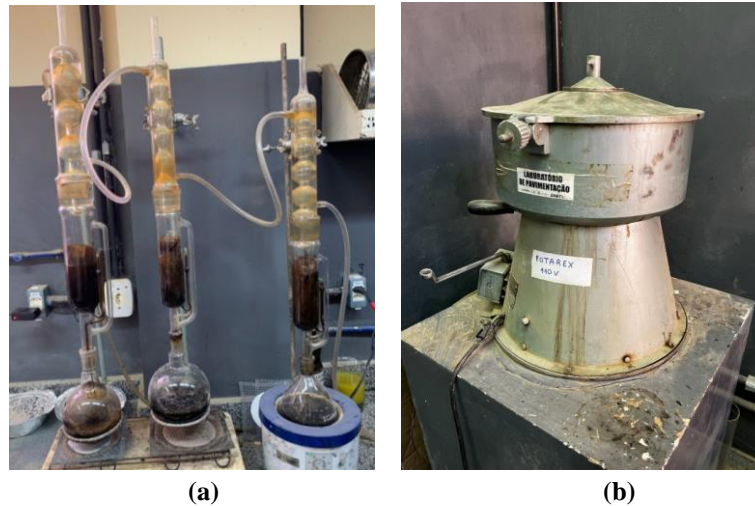


Figura 2. Processos de extração do CAP residual (a) Extrator Soxhlet; (b) Extrator Rotarex.

Tabela 3. Ensaio de extração de ligante residual do RAP.

Ensaio	Teor Residual
Rotarex (DNER 053/94)	5,09%
Soxhlet (DNIT 158/2011)	5,41%

Especificação das Emulsões Asfálticas

Para produção das misturas asfálticas deste estudo, foram empregadas a emulsão asfáltica catiônica convencional de ruptura lenta (RL-1C) e a emulsão asfáltica catiônica de ruptura controlada modificada por polímero elastomérico (RC-1C-E). Ambas fornecidas pela Brasquímica – Produtos Asfálticos LTDA, e os certificados de análise correspondentes estão disponíveis nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Caracterização da emulsão asfáltica RL-1C pela empresa Brasquímica (BRASQUIMICA, 2024).

Propriedades	Resultados	Limite	Ensaio
Viscosidade Saybolt Furol, s, 25°C.	21	Máx. 90	NBR-14491
Sedimentação após 5 dias, % massa.	2,0	Máx. 5,0	NBR-6570
Peneiração 0,84 mm, % massa.	0,01	Máx. 0,1	NBR-14393
Resistência à água (cobertura), %.	96	Mín. 80	NBR-14249
Carga de partícula.	Positiva	Positiva	NBR-6567
PH.	2,8	Máx. 6,5	NBR-6299
Resíduo Asfáltico, % em massa.	60,95	Mín. 60,0	NBR-14376
Penetração, 25°C, 100g, 5s, 0.1 mm.	51,5	40 – 150	NBR-6576
Teor de betume, %.	99,8	Mín. 97	NBR-14855
Ductilidade, 25°C, cm.	70,0	Mín. 40	NBR-6293



Tabela 5. Caracterização da emulsão asfáltica RC-1C-E pela empresa Brasquímica (BRASQUIMICA, 2024).

Propriedades	Resultados	Limite	Ensaio
Viscosidade Saybolt Furol, s, 25°C.	28,6	Máx. 70	NBR-14491
Sedimentação após 5 dias, % massa.	2,0	Máx. 5,0	NBR-6570
Peneiração 0,84 mm, % massa.	0,01	Máx. 0,1	NBR-14393
Resistência à água, %, seco.	97	Mín. 80	NBR-6300
Resistência à água, %, úmido.	95	Mín. 60	NBR-6567
Carga de partícula.	Positiva	Positiva	NBR-6567
PH.	3,3	Máx. 6,5	NBR-6299
Resíduo Asfáltico, % em massa	64,0	Mín. 62,0	NBR-14376
Penetração, 25°C, 100g, 5s, 0.1 mm.	63,3	45 - 150	NBR-6576
Ponto de amolecimento	56,0	Mín. 55	NBR-6560
Viscosidade Brookfield, 135°C	894,5	Mín. 600 CP	NBR-15184
Recuperação Elástica a 25° C	72,0	Mín. 70	NBR-15086

Mistura para o Teor de Projeto

Para determinar o traço de projeto da mistura, foram utilizados os parâmetros para PMF (Pré-misturado a frio) da especificação técnica ET-DE-P00/025 (DER/SP, 2006). No entanto, devido a granulometria do RAP não se enquadrar em nenhuma das faixas especificadas no normativo, os estudos seguiram com a granulometria natural do material, apresentado na Tabela 6. As curvas do RAP com e sem ligante, juntamente com os limites da faixa são apresentadas na Figura 3.

Tabela 6. Granulometria do RAP e faixas granulométricas da Especificação Técnica (DER/SP, 2006).

Peneiras	RAP		Faixas Granulométricas – ET-DE-P00/025 – DER/SP (2006)							Tolerância
	Com ligante	RAP Sem ligante	I	II	III	IV	V	VI	VII	
Abertura (pol.)	Passante (%)	Passante (%)								
1"	100,00	100,00	75-100	100	-	95-100	100	-	-	±7
3/4"	100,00	100,00	50-80	75-100	100	70-90	95-100	100	100	±7
1/2"	87,93	95,52	-	-	75-100	-	-	95-100	85-100	±7
3/8"	71,78	84,73	25-50	30-60	35-70	35-60	35-60	45-80	70-90	±7
n° 4	39,56	64,66	5-20	10-35	20-40	18-35	18-35	25-45	30-60	±5
n° 10	18,28	44,24	0-10	5-20	10-20	10-20	10-20	15-20	20-45	±5
n° 200	0,43	8,69	0-2	0-2	0-2	0-5	0-5	0-5	2-6	±2

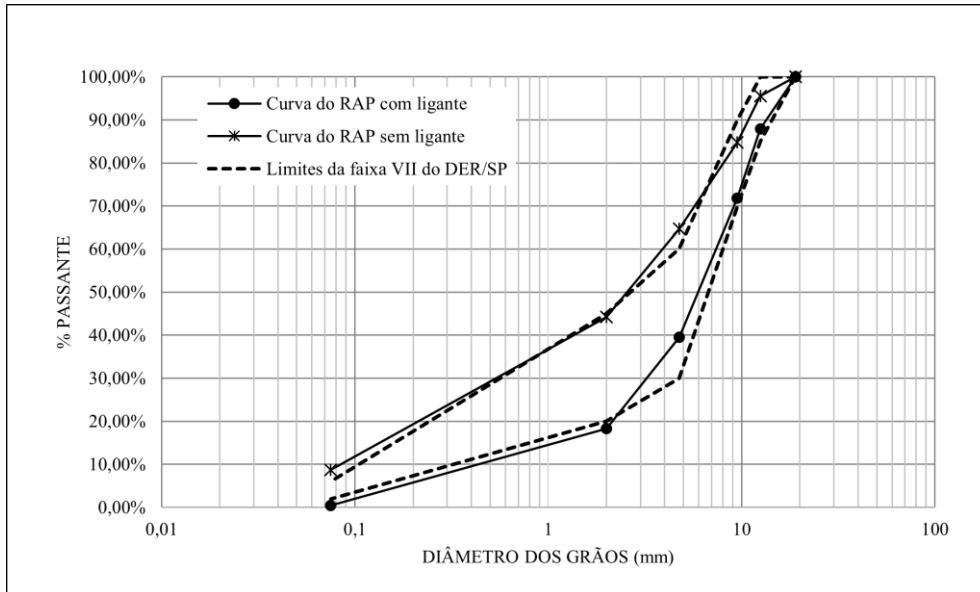


Figura 3. Composição granulométrica do RAP com e sem ligante.

Os teores de ligante utilizados nas misturas foram baseados no teor ótimo de 3,0%, obtido a partir do estudo do comportamento mecânico de misturas recicladas a frio dosadas com 100% de RAP e emulsão modificada por polímero RC-1C-E (Almeida, 2023). Portanto, inicialmente foram conduzidas as misturas com teores de 2,0%, 2,5%, 3,0%, 3,5% e 4,0% de CAP residual das emulsões RL-1C e RC-1C-E. Porém, devido a análise dos parâmetros obtidos com o resultado dos ensaios da mistura RL-1C foram realizadas novas misturas a fim de identificar uma tendência no comportamento dos diferentes teores de emulsão (4,5%, 5,0% e 5,5%).

Seguindo o procedimento do ensaio Marshall para misturas betuminosas a frio com emulsão asfáltica, descrito no DNER – ME 107 (DNER, 1994), foram produzidos corpos de prova (CP) com massa de 1200 g e compactados em um molde metálico cilíndrico com a energia de 50 golpes por face, usando o compactador automático da marca HELVAN, para caracterização mecânica através dos ensaios de Estabilidade e Fluência (DNER 107/94). Além disso, foram dosadas mais duas misturas asfálticas para cada teor e emulsão avaliada, com massa de 2000 g cada, para determinação da densidade máxima medida (G_{mm}) através do Rice Test ME DNIT 427 (DNIT, 2020), conforme indicado no fluxograma da Figura 4.

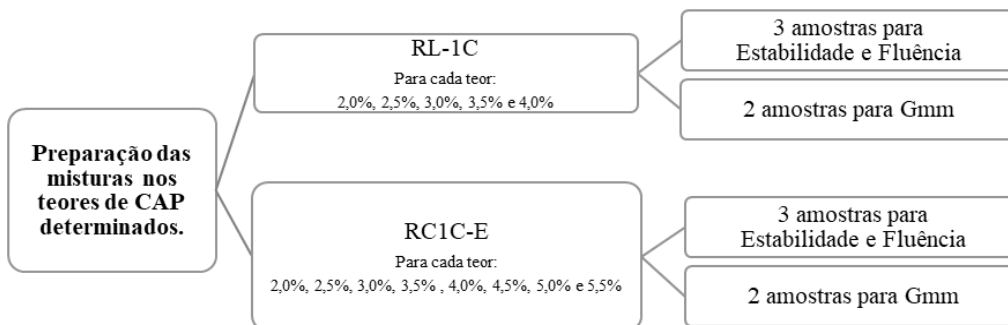


Figura 4. Fluxograma: Preparação das misturas asfálticas por teor de emulsão para ensaios mecânicos.



As amostras compactadas, após cura de 24 h em estufa a 60°C, foram deixadas à temperatura ambiente (25°C) por pelo menos 2 horas, para serem extraídas dos moldes. Após a extração, elas foram pesadas ao ar e suas medidas de diâmetro e altura foram coletadas em quatro posições diametralmente opostas, conforme especificado no ME DNIT 428 (DNIT, 2022). Este procedimento permitiu a determinação do volume de vazios (V_v) e da densidade aparente das amostras compactadas (G_{mb}), usando os resultados prévios de G_{mm} para as misturas.

Por fim, as amostras foram então colocadas em uma estufa a 40°C por 2 horas para realizar o ensaio de estabilidade e fluência, conforme descrito no método DNER – ME 107 (DNER, 1994). Esse ensaio foi conduzido utilizando uma prensa automática (HELVAN) com capacidade de carga de 4.000 kg, Figura 5, e velocidade de elevação de 50 mm/min, em conformidade com as especificações da norma. Os resultados desses ensaios foram parâmetros cruciais para determinar o teor de projeto a ser adotado.



Figura 5. (a) Prensa automática; (b) Amostras compactadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para determinação do teor de projeto para as emulsões avaliadas foram utilizados os parâmetros mecânicos e volumétricos da ET-DE-P00/025 (DER/SP, 2006) de modo que os resultados obtidos para a mistura atendam aos requisitos de projeto, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Requisitos de projeto da Especificação Técnica (DER/SP, 2006).

Características	Parâmetros (PMF Denso)
Estabilidade mínima, kN	3,5 (75 golpes)
	2,0 (50 golpes)
Fluência (mm)	2,0 – 4,5
% de vazios totais	< 10

Após realizado os procedimentos normativos com as misturas asfálticas dosadas com 100% de RAP e emulsão RC-1C-E, foi possível interpretar o comportamento mecânico através dos resultados apresentados graficamente na Figura 6, que mostra os teores testes de CAP residual da emulsão e valores médios com desvio padrão de: Estabilidade, Fluência, Densidade Aparente (G_{mb}) e Volume de Vazios (V_v).

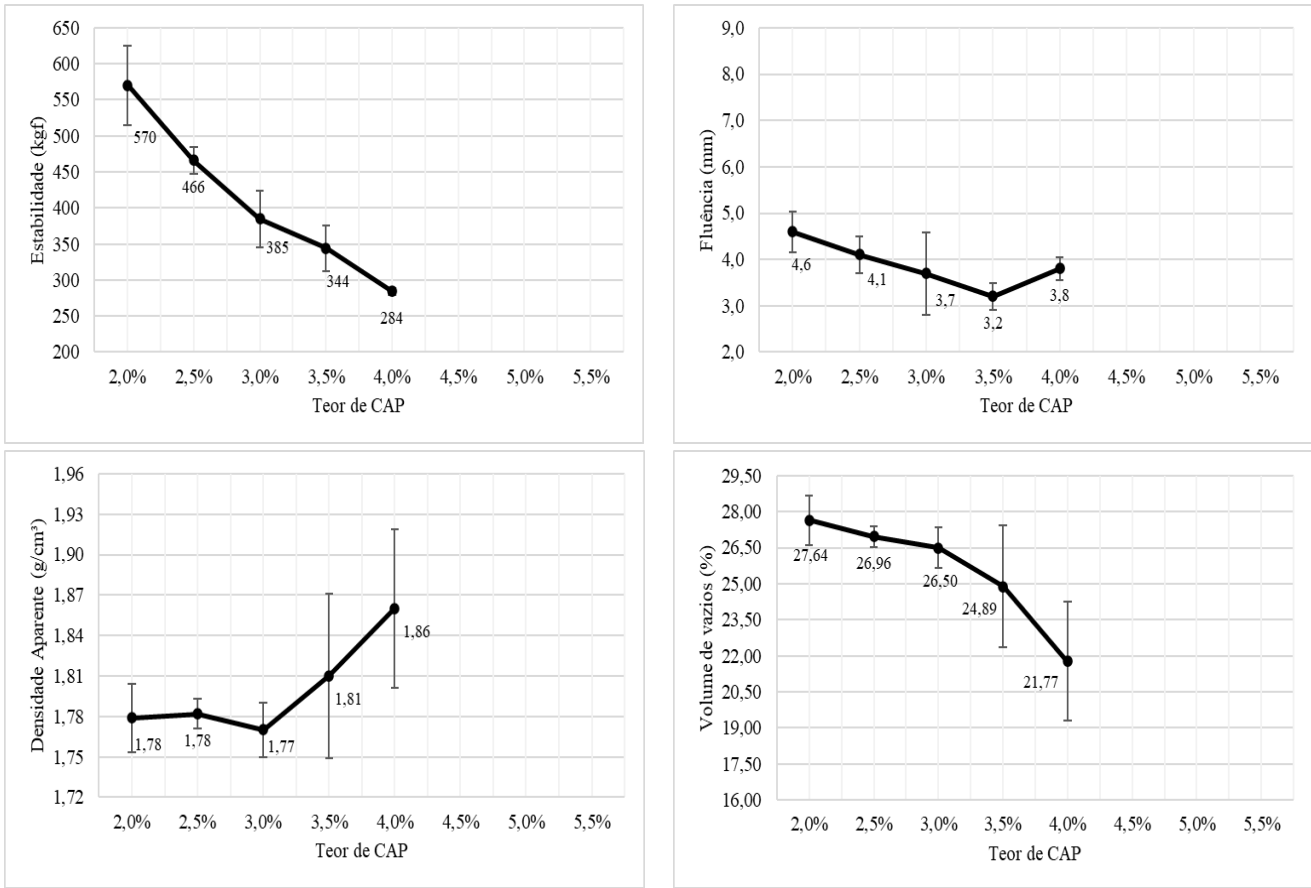
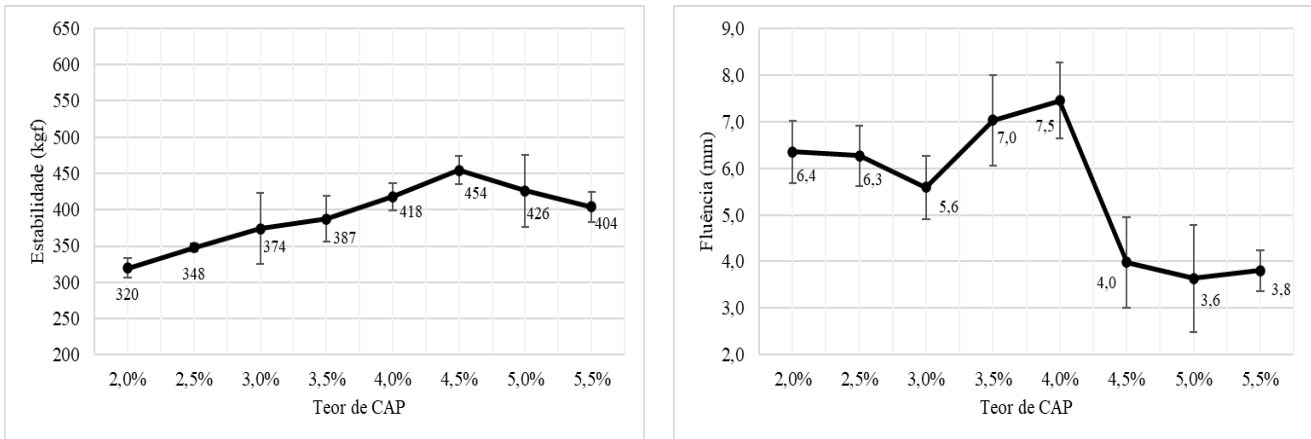


Figura 6. Parâmetros mecânicos e volumétricos das amostras compactadas de misturas com RC-1C-E.

De forma semelhante, os resultados referentes à emulsão convencional (RL-1C) estão registrados na Figura 7. Entretanto, observa-se que estes incluem teores adicionais de 4,5%, 5,0% e 5,5% de CAP residual, ao contrário da emulsão modificada. Isso se deve à necessidade de expandir a faixa de teores testados, devido ao aumento constante dos valores de Estabilidade e Densidade Aparente (G_{mb}) dos teores de 2,0% a 4,0%.



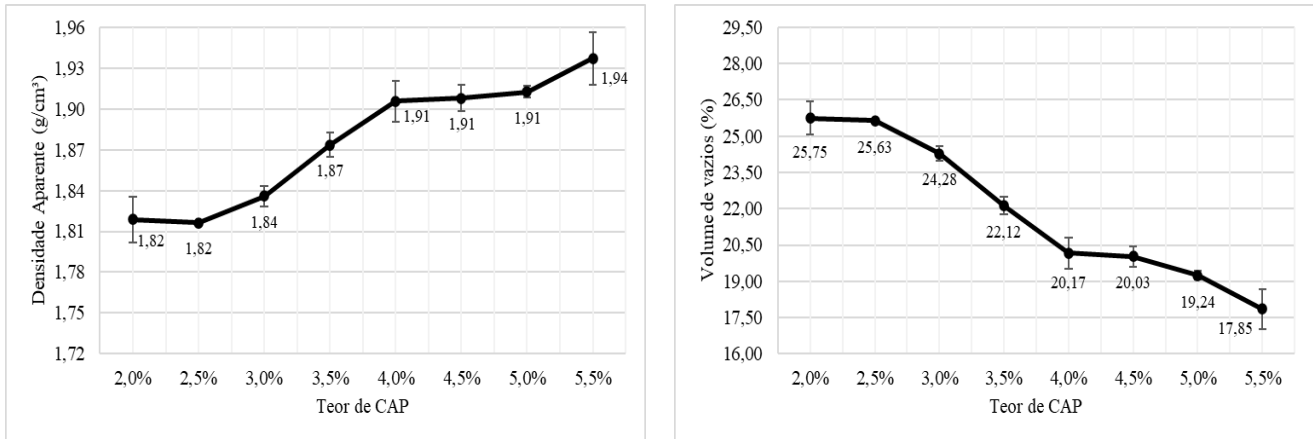


Figura 7. Parâmetros mecânicos e volumétricos das amostras compactadas de misturas com RL-1C.

Segundo Santana (2009), os parâmetros volumétricos das misturas asfálticas são de fundamental importância, sendo a densidade aparente um fator determinante que influencia diretamente nessas propriedades como o volume de vazios, além auxiliar na definição do teor de asfalto efetivo da mistura.

Analisando o volume de vazios apresentado nas misturas é possível notar que elas não estão em conformidade com a ET-DE-P00/025 (DER/SP, 2006). Contudo, a especificação técnica não distingue o parâmetro para as duas possíveis energias de compactação (50 e 75 golpes por face), como feito para a estabilidade que possui valor mínimo para cada energia aplicada. Por outro lado, a norma de especificação de serviço ES DNIT 153 (DNIT, 2010) traz valores de volumes de vazios para PMF que podem variar de 5% a 30%, sendo assim, as amostras poderiam se enquadrar neste normativo.

Verificando os resultados das misturas com emulsão RC-1C-E, é possível observar que apesar de apresentar maior estabilidade, o teor de 2,0% não atendeu a fluência segundo a Especificação Técnica. Enquanto que o teor de 3,5% apresentou menores deformações com valor de fluência mais próximo da média da faixa determinada (2,0 – 4,5 mm), densidade aparente relativamente alta, apesar do desvio padrão elevado, assim como o teor de 4,0%. Sendo assim, por questões de custo, o teor definido para projeto foi o de 3,5%. Os teores de 2,5% e 3,0% apresentaram estabilidades maiores que o teor de projeto, porém, caracterizou misturas menos densas e maiores deformações com fluências próximas ao limite superior (4,5 mm).

Observando os valores médios para a emulsão RL-1C, constatou-se que todos os teores apresentaram estabilidade superior ao parâmetro da ET (200 kgf – 50 golpes). Contudo, apenas os teores de 4,5%, 5,0% e 5,5% tiveram fluência entre a faixa exigida (2,0 – 4,5 mm), além das maiores estabilidades. Dessa forma, o teor definido para projeto foi o de 4,5%, teor que apontou densidade aparente e o volume de vazios consistente e com poucas variações em relação aos teores próximos e a maior estabilidade entre as misturas.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos nota-se que a emulsão modificada por polímero elastomérico (RC-1C-E) apresentou melhor comportamento mecânico e volumétrico, quando comparada a emulsão



convencional de ruptura lenta (RL-1C), indicando uma melhor eficiência deste tipo de emulsão para misturas asfálticas recicladas a frio.

A definição dos teores de projeto para cada emulsão, permitiu observar a redução do teor de CAP residual entre as misturas, para que se alcançasse resultados equivalentes e que satisfizessem aos requisitos de projeto da norma adotada (DER/SP, 2006). Essa redução refletirá em uma diminuição de custo de produção, além de minimizar o uso dos recursos naturais, tornando a atividade mais sustentável.

Entretanto, para que se possa fazer uma avaliação mais precisa é crucial o desenvolvimento de outros estudos, com resíduos de diferentes origens e idades, incluindo a realização de ensaios dinâmicos de módulo de resiliência e fadiga, de modo que se possa estimar de maneira mais realista o desempenho destas misturas recicladas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. R. X. ; ALMEIDA, M. S. S. ; COSTA, W. G. S. ; SANTOS, E. D. ; SANTANA, P. R. L. . Influência da cal na resistência à tração de mistura asfáltica a frio reciclada utilizando 100% de rap. In: 37º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, 2023, Santos. Anais do 37º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, 2023.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: 2a edição. 2022. 759 p.
- BRASQUIMICA LTDA. Especificação Técnica- Emulsão RL-1C e RC-1C-E. Bahia, 2024.
- CASTRO NETO, A.M. Proposta de projeto de dosagem de concreto betuminoso reciclado a quente. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica / USP – Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo – SP, 2000.
- Confederação Nacional do Transporte – CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2023: Painel Rodoviário. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-cnt-transporte-rodoviario>. Acesso em: abril de 2024.
- Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). ET-DE-P00/025. Pré-misturado a frio – Especificação técnica. São Paulo, 2006.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 053. Misturas Betuminosas- Percentagem de Betume, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1994.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 107. Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica-Ensaio Marshall, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1994.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 199. Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1996.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 153. Pavimentação asfáltica – Pré misturado a frio com emulsão catiônica convencional – Especificação de serviço, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2010.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 158. Mistura asfáltica – Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator Soxhlet – Método de ensaio, Brasília, DF, Brasil. 2011.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 412. Pavimentação - Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – ME, Brasília, DF, Brasil. 2019.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 413. Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado graúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio, Brasília, DF, Brasil. 2021.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 427. Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa máxima medida e da massa específica máxima medida em amostras não compactadas – Método de ensaio, Brasília, DF, Brasil. 2020.



Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 428. Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados – Método de ensaio, Brasília, DF, Brasil. 2022.

FERREIRA FILHO, E. C. Estudo de misturas asfálticas a frio com uso de revestimento asfáltico fresado. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2018.

FILHO, W. U.; KLINSKY, L. M. G.; MOTTA, R.; BERNUCCI, L. L. B. Cold recycled asphalt mixture using 100% RAP with emulsified asphalt-recycling agent as a new pavement base course. *Advances in Materials Science and Engineering*, v. 2020, p. 1-11, 2020.

MACHADO, M. C. Comportamento mecânico de pré-misturados a frio densos com emulsões asfálticas convencional e modificada por polímero com e sem geossintético. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2018.

MILAD, A.; TAIB, A. M.; AHMEDA, A. G. F.; SOLLA, M.; YUSOFF, N. I. M. A review of the use of reclaimed asphalt pavement for road paving applications. *J. Teknol*, v. 82, n. 3, p. 35-44, Malaysia, 2020.

MOOSOM, J. J.; GOH, T. S.; KONG, S. Y. Use of asphalt milling material in construction of the roadway. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2022. p. 01014.

PEDREIRA, W. J. P.; ALMEIDA, M. S. S., CARVALHO, A. I. S.; SILVA, F. G. S. Efeito do tempo de estocagem no comportamento mecânico de mistura asfáltica a frio produzida em usina de pequeno porte. *Revista Matéria*. Volume 26, nº 4. Rio de Janeiro, 2021.

PEREIRA, L. A. G.; LESSA, S. N. O processo de planejamento e desenvolvimento do transporte rodoviário no Brasil. *Caminhos de Geografia*, v. 12, n. 40, p. 26-45, Uberlândia, 2011.

SUZUKI, K. Y. Avaliação de misturas asfálticas recicladas a quente com diferentes teores de material fresado. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.