

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA ZIBETI DA SILVA

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA CONCHA DE OSTRA EM CONCRETOS ASFÁLTICOS
USINADOS A QUENTE

PONTAL DO PARANÁ

2024

GABRIELA ZIBETI DA SILVA

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA CONCHA DE OSTRAS EM CONCRETOS ASFÁLTICOS
USINADOS A QUENTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil do Campus Avançado Pontal do Paraná - Centro de Estudos do Mar - Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof.(a). Dr(a). Daniela Evaniki.

PONTAL DO PARANÁ

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DO CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

Silva, Gabriela Zibeti da
S581u Utilização do resíduo da concha de ostra em concretos asfálticos usinados a quente /
Gabriela Zibeti Silva. – Pontal do Paraná, 2024.
1 arquivo [52 f.] : PDF.

Orientadora: Profa. Dra. Daniela Evaniki

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do
Paraná, Centro de Estudos do Mar, Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto - Mistura. 2. Produtos reciclados. 3. Resíduos como material de
de construção. 4. Concha. 5. Sustentabilidade. I. Evaniki, Daniela. II. Título. III.
Universidade Federal do Paraná.

CDD – 620.136



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

GABRIELA ZIBETI DA SILVA

“UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA CONCHA DE OSTRAS EM CONCRETOS ASFÁLTICOS USINADOS A QUENTE”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Profª. Drª. Daniela Evaniki

Prof. Orientador - CPP-CEM/UFPR

Profª. Msc. Cristiane Lourencetti Burmester

UTP

Prof. Msc. Paulo Eduardo de Melo Paris

Unifacear

Pontal do Paraná, 09 de agosto de 2024



Documento assinado eletronicamente por **DANIELA EVANIKI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/08/2024, às 15:12, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **6889733** e o código CRC **9C660C7C**.

Dedico aos meus pais, que me
impulsionaram todos os dias
com palavras de apoio.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Nodil e Rita, pelo amor, apoio e paciência incondicionais durante esta longa trajetória, por nunca medirem esforços para estarem ao meu lado.

À minha família, pelo carinho, motivação e suporte ao longo dessa desafiadora trajetória.

Às minhas amigas, Alyssa e Leandra, por sua amizade incondicional e pelo apoio constante durante todo o período em que me dediquei a este trabalho.

Aos meus caros amigos da graduação, por todos os momentos de convivência, pelas risadas, pelas longas conversas, pelas parcerias nos trabalhos e pelas horas de estudo compartilhadas.

A todos da empresa BRF, pelo fornecimento dos materiais e dados para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

Meu profundo agradecimento a minha orientadora, Daniela Evaniki, por sua orientação, paciência e dedicação.

Por fim, agradeço a Deus e a Nossa Senhora do Rocio por me conceder saúde, sabedoria e força para superar todos os obstáculos ao longo da realização deste trabalho.

*“A toda ação há sempre uma reação
oposta e de igual intensidade” (Isaac Newton)*

RESUMO

O resíduo da concha da ostra (RCO) é um subproduto das ostras que possui propriedades importantes na construção civil, como na sua composição química rica em carbonato de cálcio. Nesse sentido, o objetivo deste estudo é analisar o comportamento do RCO quando utilizado como fíler em concreto asfáltico usinado a quente. Para esse propósito utilizou-se de o ensaio de estabilidade e fluência Marshall de acordo com a Norma Rodoviária DNIT 447/2024. Para isso, foi coletado o RCO no bairro Cabaraquara em Guaratuba/PR e no laboratório o material foi lavado, secado sob sol, processado em um moinho de bolas e por fim passou pela peneira 0,075mm. Foram feitos três corpos de prova de CAUQ com fíler de RCO e três CPs com fíler de Cal CH1. Os resultados demonstram que a massa específica aparente e o volume de vazios para ambas as misturas se assemelharam e a estabilidade das amostras se mantiveram acima dos valores de referência, porém a fluência encontrada nos CPs de CAUQ com RCO foi acima do limite estipulado pelo DER/PR, tornando o concreto asfáltico mais fluído. A análise do percentual de vazios, estabilidade e fluência do concreto asfáltico é de suma importância para prever o comportamento do pavimento asfáltico quanto a resistência a fadiga e deformações permanentes, evitando a geração de patologias futuras aos pavimentos asfálticos.

Palavras-Chave: Resíduo da concha da ostra; CAUQ, sustentabilidade.

ABSTRACT

Oyster shell waste (OSW) is a byproduct of oysters that has important properties in civil construction, such as its chemical composition rich in calcium carbonate. In this context, the objective of this study is to analyze the behavior of OSW when used as filler in hot-mix asphalt concrete. For this purpose, the Marshall stability and flow test was used according to the DNIT Road Standard 447/2024. OSW was collected in the Cabaraquara neighborhood in Guaratuba/PR and in the laboratory, the material was washed, sun-dried, processed in a ball mill, and finally passed through a 0.075mm sieve. Three specimens of HMAC with OSW filler and three specimens with CH1 lime filler were made. The results show that the apparent specific mass and the void volume for both mixtures were similar and the stability of the samples remained above the reference values, but the flow found in the HMAC specimens with OSW was above the limit stipulated by DER/PR, making the asphalt concrete more fluid. The analysis of the percentage of voids, stability, and flow of the asphalt concrete is of utmost importance to predict the behavior of the asphalt pavement in terms of fatigue resistance and permanent deformations, avoiding the generation of future pathologies in the asphalt pavements.

Keywords: Oyster shell waste; HMAC; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA DO TRABALHO	28
FIGURA 2 - RCO SECO AO AR LIVRE	29
FIGURA 3 - MOINHO DE BOLAS	29
FIGURA 4 - RESÍDUO DA CONCHA DA OSTRÁ MOÍDO E PENEIRADO	29
FIGURA 5 - BRITA RETIDA NA PENEIRA 3/4	30
FIGURA 6 - BRITA RETIDA NA PENEIRA 1/2 E BRITA RETIDA NA PENEIRA 3/8	31
FIGURA 7 - BRITA RETIDA NA PENEIRA 4 E BRITA RETIDA NA PENEIRA 8	31
FIGURA 8 - AGREGADO RETIDO NO RESTANTE DA FRAÇÃO	31
FIGURA 9 - ADIÇÃO DE 2% DE CAL CH 1	32
FIGURA 10 - AMOSTRAS COM 2% DE RCO	32
FIGURA 11 - AMOSTRAS NO FORNO INDUSTRIAL A 175° C	33
FIGURA 12 - ADIÇÃO DO CAP NAS AMOSTRAS	33
FIGURA 13 - AMOSTRA COM 5,3% DE CAP	34
FIGURA 14 - MISTURA NO FOGÃO INDUSTRIAL	34
FIGURA 15 - MISTURA À APROXIMADAMENTE 165° C	35
FIGURA 16 - AMOSTRA SENDO COLOCADA NA FORMA	35
FIGURA 17 - SOQUETE MARSHALL MANUAL	36
FIGURA 18 - CORPO DE PROVA APÓS 75 GOLPES POR FACE	36
FIGURA 19 - CORPOS DE PROVA DESMOLDADOS	37
FIGURA 20 - MASSA SECA DO CORPO DE PROVA COM RCO	37
FIGURA 21 - MASSA SUBMERSA EM ÁGUA DE CORPO DE PROVA	38
FIGURA 22 - MASSA SATURADA DE CORPO DE PROVA	38
FIGURA 23 - CORPOS DE PROVA EM IMERSÃO À 60° C.	41
FIGURA 24 - PRENSA MARSHALL	41
FIGURA 25 - GRÁFICO DE DENSIDADE APARENTE DAS AMOSTRAS DE CAUQ	43
FIGURA 26 - GRÁFICO DE ESTABILIDADE DAS AMOSTRAS DE CAUQ	46
FIGURA 27 - GRÁFICO DE FLUÊNCIA DAS AMOSTRAS DE CAUQ	47

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - VALORES DE REFERÊNCIA DO ENSAIO MARSHALL	24
---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CURVA DO MATERIAL PASSANTE.....	25
TABELA 2 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA PARA MOLDAGEM DE UM CORPO DE PROVA.....	30
TABELA 3 - DENSIDADE RELATIVA APARENTE	43
TABELA 4 - MASSA ESPECIFICA APARENTE	43
TABELA 5 - VOLUME DE VAZIOS DAS AMOSTRAS DE CAUQ.....	44
TABELA 6 - ESTABILIDADE DAS AMOSTRAS DE CAUQ	45
TABELA 7 - FLUÊNCIA DAS AMOSTRAS DE CAUQ	46

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

RCO	Resíduo da concha de ostra;
CP	Corpo de prova;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
CaCO ₃	Carbonato de cálcio;
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a quente;
PVC	Policloreto de vinila.

LISTA DE SÍMBOLOS

© - copyright

@ - arroba

® - marca registrada

Σ - somatório de números

Π - produtório de números

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
1.1.	OBJETIVOS	18
1.1.1.	Objetivo Geral	18
1.1.2.	Objetivo Específico	18
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO RESÍDUO DA CONCHA DE OSTRAS (RCO)	19
2.2.	APLICAÇÕES DO RESÍDUO DA CONCHA DE OSTRAS NA ENGENHARIA CIVIL	20
2.3.	QUANTIFICAÇÃO DO RESÍDUO DA CONCHA DE OSTRAS	21
2.4.	CONCRETO ASFALTICO	22
2.3.1.	DOSAGEM DO CONCRETO ASFÁLTICO	23
2.3.2.	DOSAGEM MARSHALL	24
2.3.3.	FÍLER EM CONCRETO ASFÁLTICO	25
2.5.	RESÍDUO DA CONCHA DA OSTRAS EM CONCRETO ASFALTICO	26
3.	METODOLOGIA	28
3.1.	COLETA DO RESÍDUO DA CONCHA DA OSTRAS	28
3.2.	DOSAGEM DO CAUQ	30
3.3.	MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DENSIDADE APARENTE	37
3.4.	VOLUME DE VAZIOS	39
3.5.	ENSAIO DE ESTABILIDADE E ENSAIO DE FLUÊNCIA	40
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1.	MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DENSIDADE APARENTE	43
4.2.	VOLUME DE VAZIOS	44
4.3.	ESTABILIDADE	45
4.4.	FLUÊNCIA	46
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48

REFERÊNCIAS.....49

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura é um importante setor no Brasil, que gera grandes lucros e cria milhares de empregos. No entanto, também produz uma grande quantidade de resíduos, incluindo um volume notável de Resíduos da Concha de Ostra (RCO).

No Brasil, segundo dados do IBGE, em 2021, aproximadamente 10.908 toneladas de mariscos foram extraídas da natureza, o que corresponde a cerca de 9.817,2 toneladas de resíduos, considerando que a concha representa 90% do peso do marisco. Ainda segundo o IBGE, no estado do Paraná, a coleta resultou em cerca de 193,14 toneladas de resíduos, e no município de Pontal do Paraná onde se realizou o estudo, foram coletadas cerca de 4,05 toneladas.

O resíduo da concha de ostra quando descartado inadequadamente no meio ambiente, pode provocar alterações intensas no solo, na água e no ar e que quando reaproveitados, essas possibilidades são reduzidas, contribuindo, assim, para uma sociedade mais equilibrada e responsável (Evaniki, Silva e Colli, 2023).

Além disso, vale ressaltar que o RCO é um subproduto com propriedades interessantes, visto que sua composição química é rica em carbonato de cálcio, conhecido também como calcita (CaCO_3), um dos minerais mais utilizados na construção civil. Diferentes estudos já foram realizados utilizando o RCO como matéria-prima para produção de concretos de cimento Portland (Lejano, 2017; Mo et al., 2017; Yang, Yi e Leem, 2005), concretos asfálticos usinados a quente (Evaniki, Silva e Colli, 2023; Hu, C., Zhong, D. e Li, S. (2023); Nciri, N., Shin, T., Lee, H., & Cho, N. (2018)), argamassas (Chen et al., 2019; Kuo et al., 2013; Lertwattanaruk, Makul e Siripattaraprat, 2012), tijolos (Chiou et al., 2014) e tubos de PVC (Boicko et al., 2004).

A fissuração por fadiga representa um desafio significativo nos pavimentos asfálticos, prejudicando consideravelmente a sua capacidade de manutenção. As cargas repetitivas provenientes do tráfego são a causa primária desse tipo de fissuração. Quando há uma diminuição na adesão entre o asfalto e os agregados, isso amplia a probabilidade de propagação de trincas e o início do processo de fadiga, especialmente em pavimentos flexíveis. Segundo Yarahmadi et. al., (2022), houveram resultados positivos na resistência à fadiga das misturas de SMA (*Stone Matrix Asphalt*) ao incluir partículas de CaCO_3 , reduzindo sua deformação final, demonstrando um potencial promissor para retardar tanto a formação quanto a

propagação de trincas de fadiga na mistura SMA. Neste sentido, muitas pesquisas são realizadas com o intuito de utilizar os resíduos em diferentes aplicações, entre elas, destaca-se o fíler empregado na composição da mistura asfáltica.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o comportamento do concreto asfáltico usinado a quente quando utilizado resíduo da concha de ostra como fíler.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a densidade relativa aparente e massa específica aparente para as misturas de CAUQ com adição de Cal CH1 e RCO.
- Determinar o volume de vazios para as misturas de CAUQ com adição de Cal CH1 e RCO.
- Determinar a estabilidade para as misturas de CAUQ com adição de Cal CH1 e RCO.
- Determinar a fluência para as misturas de CAUQ com adição de Cal CH1 e RCO.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO RESÍDUO DA CONCHA DE OSTRAS (RCO)

A concha da ostra é composta por três camadas: o perióstraco (camada externa de proteína) e duas camadas internas de carbonato de cálcio (CaCO_3) em formas de cristais de calcita e aragonita. A camada interna, que fica em contato com o corpo da ostra, é brilhante e dura, chamada de nácar. O formato da concha varia com o ambiente de crescimento (Oliveira, 2000).

Para Sant'Anna *et al.*, (2007), o carbonato de cálcio (CaCO_3) representa uma grande porcentagem na composição das conchas de ostra, em seu estudo encontrou-se uma média de 87,7% do material e possui uma ampla gama de aplicações como matéria-prima. Sua utilização abrange diversos setores industriais, incluindo a construção civil, onde é empregado na fabricação de cimento, pavimentação e confecção de blocos. Além disso, o carbonato de cálcio é utilizado em outros segmentos industriais, como a produção de suplementos, rações para aves, corretivos de solo, formulação de tintas, fabricação de plásticos e até mesmo no desenvolvimento farmacológico.

De acordo com a pesquisa de Silva *et al.* (2010), a densidade aparente das conchas de ostras variou entre 1,50 e 1,61 g/cm³. A suspensão de 10% do pó das conchas de ostra em água apresentou um pH próximo a 9, inferior ao pH do hidróxido de cálcio em água, que é de 12,8. O índice de umidade das amostras trituradas variou entre 0,55 e 1,22%.

Yoon *et al.*, (2003) realizaram uma investigação das características químico-mecânicas de concha de ostra triturada, as análises químicas mostraram que as conchas de ostras são compostas predominantemente por carbonato de cálcio com raras impurezas. O estudo também abordou uma análise sobre a resistência à compressão para amostras de argamassa com diferentes proporções de mistura de cimento, água, areia e concha de ostra e como resultado verificou-se que não houve uma redução significativa na resistência à compressão até 40% das dosagens de concha de ostra em substituição da areia e os resultados experimentais concluíram que a concha da ostra pode ser fonte de materiais calcários puros e eficazes em substituição à areia.

2.2. APLICAÇÕES DO RESÍDUO DA CONCHA DE OSTRAS NA ENGENHARIA CIVIL

Diferentes aplicações estão sendo pesquisadas em subprodutos industriais ricos em carbonato de cálcio.

Yoon *et al.*, (2005) realizaram uma avaliação de viabilidade da substituição de agregados convencionais na produção de concreto por meio da incorporação de do resíduo da concha de ostra moído, em conjunto com areia, em uma proporção específica, como resultados essa combinação foi considerada uma alternativa satisfatória em situações em que a disponibilidade de areia é limitada.

Liu, *et al.*, (2020) verificaram a substituição dos agregados finos pelo resíduo da concha de ostra e a sua adição em cimentos para fabricar tijolos ecológicos. No estudo observaram vários benefícios como uma condutividade térmica mais baixa, além de reduzir o consumo de argamassa de cimento. Essa abordagem também elimina a necessidade de importação de tijolos de partição, diminuindo assim a pegada de carbono geral da ilha Kinmen. Além disso, essa prática contribui para equilibrar os resíduos agrícolas e pesqueiros gerados anualmente na ilha, utilizando-os como materiais de construção necessários. Por fim, ela ajuda a resolver os problemas de poluição ambiental causados pelos resíduos comerciais.

Gengying, *et al.*, (2015) comprovaram que o cimento de alta qualidade produzido a partir resíduo da concha de ostra apresentava boa resistência ao desgaste.

Naqi *et al.*, (2020) utilizaram o resíduo da concha de ostra como substituto parcial do agregado miúdo na produção de mistura asfáltica, após um processo de trituração e peneiramento. A estabilidade em altas temperaturas da mistura asfáltica foi medida e os resultados revelaram que, quando o resíduo da concha de ostra foi utilizado em substituição parcial do agregado miúdo, a estabilidade em altas temperaturas da mistura asfáltica modificada com pó de concha de ostra foi 10% maior em comparação com a mistura asfáltica convencional.

Conforme Hu *et al.*, (2023) foi realizado um estudo para investigar o efeito do pó de concha de ostra nas propriedades mecânicas do asfalto e o mecanismo de modificação proporcionado pela concha de ostra. O estudo preparou cimento asfáltico modificado com pó de concha de ostra em diferentes concentrações. Os resultados

demonstraram que o pó de concha de ostra tem um impacto significativo nas propriedades mecânicas do asfalto, melhorando seu desempenho técnico.

Um estudo experimental foi conduzido por Safi, *et al.*, (2015) para avaliar as propriedades de argamassas autoadensáveis (SCMs) no estado fresco (fluidez) e endurecido (densidade volumétrica, porosidade/absorção de água, resistência à flexão e compressão, e módulo de elasticidade), por meio da substituição parcial e total da areia (S) por conchas trituradas (Sh) em diferentes proporções (Sh/S = 0%, 10%, 20%, 50% e 100%) em peso. Os resultados obtidos indicam que as conchas trituradas (0/5 mm de tamanho) podem ser utilizadas como agregado miúdo em argamassas autoadensáveis, sem afetar as propriedades essenciais dessas argamassas. No entanto, argamassas contendo 100% de conchas do mar apresentaram maior fluidez, sendo adequadas para aplicações que demandem concreto fluído, como o concreto autoadensável. Além disso, a substituição de até 100% da areia pelas conchas trituradas resultou em uma leve redução na resistência à compressão e no módulo de elasticidade das argamassas estudadas.

Li, *et al.*, (2015) apresentaram um estudo experimental paramétrico que abordou a reciclagem de cinzas calcinadas provenientes de concha de ostra como substituto da cal na produção de tijolos não queimados de cinza volante. Foram realizados experimentos com cinco diferentes níveis de substituição de OS (variando de 0% a 20%) para investigar o efeito na resistência mecânica e na resistência ao congelamento e descongelamento. Além disso, o estudo analisou o efeito dos ciclos úmido-seco no encolhimento, absorção de água e resistência das amostras de UFB. De acordo com os resultados dos testes, os tijolos que incorporam a concha de ostra e cal alcançaram uma resistência e durabilidade de 28 dias correspondente ao grau M15, conforme estabelecido no padrão chinês GB/T2542-2012. Além disso, os ciclos úmido-seco dentro dos limites investigados neste estudo demonstraram um efeito positivo nas propriedades mecânicas, indicando que os tijolos podem ser utilizados em condições ambientais tanto úmidas quanto secas.

2.3. QUANTIFICAÇÃO DO RESÍDUO DA CONCHA DE OSTRAS

Grandes quantidades de resíduos de conchas de ostras são descartadas anualmente em todo o mundo, segundo Liu *et al.* (2020) ao longo das áreas costeiras da China mais de 5 milhões de toneladas de ostras foram descartadas em 2010 e

apenas cerca de 30% deste resíduo foi reciclado devido ao baixo valor comercial e a maioria do resíduo foi despejado em aterros sanitários aleatórios.

A concha das ostras representa entre 75 a 90% do peso total dos moluscos, o que gera anualmente cerca de 14 mil toneladas de resíduos, dos quais 52% são devolvidos ao mar e o restante é depositado em locais como praias, aterros ou lixões. Em virtude do desconhecimento de alternativas para o uso deste subproduto em outras indústrias (Visconti *et al.*, 2014).

De acordo com Petrielli (2008), apenas 10% das conchas de ostras são reutilizadas ou vendidas, enquanto a maior parte é descartada de maneira inadequada, causando sérios impactos ambientais. O descarte em grande quantidade no fundo do oceano pode gerar assoreamento, afetando diretamente o ecossistema marinho. Além disso, as conchas de ostras, quando associadas às correntes de maré, podem ser levadas para a região costeira, representando uma ameaça para os banhistas. O despejo dessas conchas em terrenos baldios pode causar doenças devido a insetos e animais que se alimentam da matéria orgânica restante nas conchas, além de mau cheiro e a possibilidade de a decomposição microbiana liberar gases tóxicos.

2.4. CONCRETO ASFÁLTICO

Segundo a norma DNIT 031/2006 o concreto asfáltico se defini como uma mistura a quente, produzida em uma usina com características específicas, composto de agregado graduado, um material de enchimento, se necessário, cimento asfáltico.

Conforme Bernucci *et al.*, (2006), o concreto asfáltico é uma combinação de agregados minerais e ligantes asfálticos que, quando produzido e aplicado de forma adequada, proporciona ao pavimento características como impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem de veículos, resistência à fadiga e deformação permanente. A estrutura do pavimento e o projeto de dosagem do revestimento são desenvolvidos para garantir o cumprimento de todos os requisitos técnicos de qualidade. A escolha dos materiais e a dosagem adotadas exercem influência no comportamento mecânico do revestimento, especialmente durante a exposição ao tráfego e às condições climáticas.

Dessa forma, diversos tipos de cimento asfáltico de petróleo podem ser utilizados, entre os mais comuns estão: CAP-30/45, CAP-50/70, CAP-85/100. Além

disso ainda existem cimentos asfálticos com adição de polímeros que podem alterar as características elásticas com objetivo de tornar o pavimento mais flexível e com a adição de borracha moída de pneus que resolve um grande problema ecológico e melhora as propriedades do concreto asfáltico (Rodrigues, 2006).

Conforme a especificação de serviço ES 031 (DNIT, 2006), os agregados graúdos que podem ser utilizados são, por exemplo, a pedra britada, escória, seixo rolado britado, entre outros. Já o material de enchimento que podem ser utilizados são o cimento Portland, cal extinta, pós-calcários, cinzas volantes entre outros, na sua utilização a norma descreve que o material precisa estar seco e isento de aglomerados.

Segundo a especificação de material ME 054 (DNER, 2004) define que os agregados miúdos que podem ser utilizados são a areia, pó-de-pedra ou uma combinação de ambos. É importante que as partículas individuais sejam robustas e não contenham torrões de argila. Além disso, o agregado miúdo deve possuir um equivalente de areia igual ou superior a 55%.

2.3.1. DOSAGEM DO CONCRETO ASFÁLTICO

Segundo Ceratti, (2014), a dosagem de uma mistura asfáltica, é determinado um teor de ligante asfáltico, conhecido como teor de projeto, com base em uma faixa granulométrica pré-definida e procedimentos experimentais. Esse teor de projeto pode variar de acordo com o método de dosagem utilizado, levando em consideração questões como forma e energia de compactação, tipo de mistura asfáltica e temperatura de serviço, entre outros.

Segundo Specht (2004), no Brasil, a metodologia Marshall é amplamente utilizada para o desenvolvimento de projetos de misturas asfálticas. Esta metodologia foi desenvolvida por Bruce G. Marshall, do Departamento de Transporte do Estado do Mississippi, nos Estados Unidos, na década de 1930. Seu objetivo é determinar a quantidade ideal de ligante a ser utilizado na composição de misturas asfálticas destinadas a pavimentação rodoviária. Esse processo se baseia nos resultados de ensaios de estabilidade realizados para alcançar o melhor desempenho da mistura asfáltica.

2.3.2. DOSAGEM MARSHALL

A metodologia Marshall envolve a moldagem de corpos de prova com diferentes teores de ligante asfáltico, por meio de compactação a quente, dentro de moldes cilíndricos metálicos. Após a remoção dos moldes, os corpos de prova são armazenados ao ar livre por 24 horas. Em seguida, eles são imersos em um banho a uma temperatura de 60°C e submetidos a uma compressão diametral utilizando um molde de compressão cilíndrico desenvolvido por Marshall, por meio de uma prensa. O valor da carga máxima suportada pelo corpo de prova é denominado estabilidade Marshall, e a deformação resultante da falha é conhecida como deformação por fluência. Além desses valores, são calculados também a densidade, o volume de vazios e a relação entre os vazios dos agregados preenchidos pelo ligante asfáltico. (Specht, 2004).

Segundo a norma ES 21 (DER/PR, 2017), para a dosagem de misturas betuminosas deve ser adotado o ensaio Marshall (DNER-ME 043) para verificar as condições da mistura asfáltica, como estabilidade, fluência e volume de vazios. Assim, a norma descreve no Quadro 1 os valores que se devem respeitar.

Quadro 1 - Valores de referência do ensaio Marshall

Ensaio	Característica	Camada de rolamento	Camada de ligação
DNER-ME 043	Porcentagem de vazios	3 a 5	4 a 6
DNER-ME 043	Relação betume/vazios	70 – 82	65 – 75
DNER-ME 043	Estabilidade, mínima	850kgf	700kgf
DNER-ME 043	Fluência, mm	2,0 – 4,0	2,5 – 3,5

Fonte: DER/PR – ES-P 21/17

Asphalt (2022) define a porcentagem de vazios como a proporção de pequenos espaços de ar presentes entre as partículas de agregados revestidos na mistura compactada final. Esses espaços de ar são necessários em todas as misturas de pavimentos densos para permitir uma compactação adicional sob o tráfego e para proporcionar espaços onde pequenas quantidades de asfalto possam fluir durante essa compactação subsequente.

Segundo a norma ME 447 (DNIT, 2024) a estabilidade Marshall pode ser definida como a resistência à compressão radial máxima que o corpo de prova pode suportar sem sofrer deformações permanentes. Já a fluência Marshall pode ser definida como

a deformação total apresentada pelo corpo de prova, desde a aplicação da carga inicial até a carga máxima, e representa a flexibilidade do pavimento, sua razão baixa representa uma mistura seca e seu valor alto reflete um material macio e plástico.

2.3.3. FÍLER EM CONCRETO ASFÁLTICO

O fíler, ou material de enchimento, pode ser descrito como aquele que possui mais de 65% de suas partículas passando pela peneira nº 200 - com abertura de 0,075 mm conforme norma EM 367 (DNER, 1997).

Segundo Bardini (2013), o fíler preenche os vazios entre os agregados graúdos nas misturas e altera as propriedades dos ligantes asfálticos, pois age como parte ativa do mástique (combinação de ligante asfáltico, fíler e ar). Na dosagem, o mástique influencia a lubrificação das partículas de agregados maiores e afeta os vazios do agregado mineral, as características de compactação e o teor ótimo de ligante asfáltico.

Kim *et al.*, (2003), define que as características do mástique das misturas asfálticas afetam o comportamento mecânico, térmico, reológico e de sensibilidade a água. A rigidez do mástique em temperaturas baixas afeta a resistência ao trincamento, em temperaturas intermediárias influencia a resistência à fadiga e em temperaturas altas afeta a resistência a deformação permanente.

De acordo com Rodrigues *et al.*, (2019) a relação entre os benefícios da adição de fíler e a quantidade desse material na mistura não segue uma tendência linear. Grandes quantidades de fíler têm um impacto adverso na trabalhabilidade, na flexibilidade e na durabilidade da mistura asfáltica.

Conforme as diretrizes do ES-P 21 (DER/PR, 2017) o fíler, quando requerido, precisa estar seco e sem aglomerados para sua aplicação. Deve ser composto exclusivamente por cal hidratada do tipo CH-I e seguir a granulometria especificada a seguir.

Tabela 1 – Curva do Material Passante

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando em peso
ABNT	Abertura, mm	
n.º 40	0,42	100
n.º 80	0,18	95 – 100
n.º 200	0,074	65 – 100

Fonte: DNER – ME 083

Conforme empresa STRATURA Asfaltos (2021) a utilização da cal hidratada como fíler se deve pela sua propriedade melhoradora de adesividade do ligante asfáltico e tornou-se usual pelas concessionárias de rodovias afim de não recorrer aos aditivos melhoradores de adesividade. Onde é citado na norma ES-P 21 (DER/PR, 2017) que a utilização da cal hidratada pode suprir a necessidade de um aditivo como melhorador de adesividade.

Para Tunnicliff (1962), a diferença entre as partículas de fíler e as de agregado está no fato das partículas de fíler reagirem quimicamente e interagirem fisicamente com o ligante asfáltico, enquanto as partículas de agregado agem de forma secundária na formação da ligação ligante-fíler e preenchem de forma parcial os vazios.

No trabalho de Motta e Leite (2000), foi examinado o efeito de três tipos de fíleres: pó de calcário, cimento Portland e pó de pedra. Entre os fíleres analisados, o pó de calcário demonstrou possuir o menor tamanho de partícula, enquanto o cimento Portland apresentou um tamanho intermediário. Constatou-se que os corpos de prova elaborados com pó de calcário exibiram valores superiores de módulo de resiliência e resistência à tração em comparação com aqueles feitos com os outros tipos de fíleres, os quais possuíam granulometria mais grossa. Os resultados dos ensaios mecânicos destacaram a influência da granulometria do fíler na rigidez da mistura betuminosa, uma vez que quanto menor o tamanho das partículas do fíler, maior era a incorporação do mineral no ligante, resultando em uma maior rigidez da mistura.

2.5. RESÍDUO DA CONCHA DA OSTRAS EM CONCRETO ASFÁLTICO

De acordo com o artigo de Nciri (2018), o estudo avaliou o uso de conchas de ostras recicladas como fíler em pavimentos asfálticos. Foram examinadas diferentes proporções de pó de concha de ostra misturado ao betume, realizando análises químicas, térmicas, e testes físicos e reológicos para avaliar o desempenho das misturas. Os resultados indicaram que a adição do pó de concha de ostra aumentou a rigidez das misturas, sem reações significativas com o asfalto. Concentrações menores e intermediárias melhoraram a estabilidade térmica e o desempenho em baixas temperaturas, além da resistência à deformação permanente e à fadiga. Nciri concluiu que as conchas de ostras recicladas têm potencial para substituir fíler,

trazendo melhorias na qualidade dos pavimentos e redução de custos de construção, além de ajudar na gestão de resíduos.

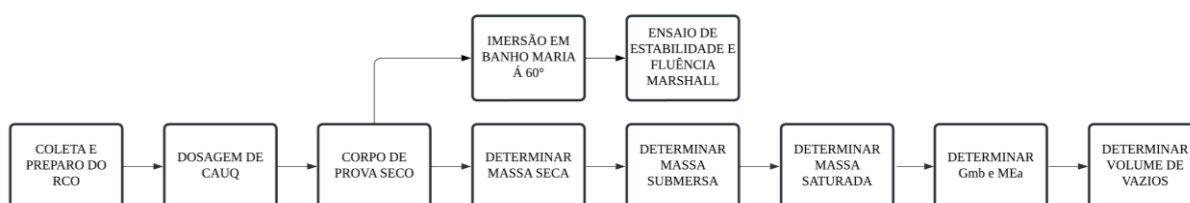
De acordo com o artigo de Hu (2023) sobre o uso de pó da concha de ostra no asfalto, os resultados observados mostram que o pó tem um efeito significativo nas propriedades mecânicas do asfalto. Sua incorporação melhora positivamente as propriedades técnicas dos materiais asfálticos. De acordo com os resultados deste estudo, quando o teor de pó de concha de ostra atinge 12%, ele tem maior impacto nas propriedades mecânicas do asfalto e tem o melhor efeito de modificação nos materiais asfálticos.

Segundo Evaniki *et al.* (2023), foram realizados ensaios de adesividade para avaliar a incorporação do resíduo de concha de ostra como melhorador do cimento asfáltico. Os resultados mostraram que a adição de 1% de resíduo de concha de ostra (RCO) à mistura asfáltica foi a ideal para melhorar a adesividade, pois não houve deslocamento da película betuminosa entre o agregado e o ligante. Essa eficácia foi atribuída ao fato de o RCO ser rico em carbonato de cálcio e possuir granulometria pulverulenta após moagem, o que aumentou a viscosidade da mistura, melhorando a resistência ao deslocamento entre o ligante e o agregado e promovendo uma melhor fixação do ligante na interface agregado-mástique.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, foi descrita a metodologia aplicada neste trabalho, com o objetivo de comparar a utilização do RCO como substituto da Cal CH1 no concreto asfáltico faixa B com CAP borracha. A Figura 1 ilustra o fluxograma que abrange desde a coleta do RCO até os resultados alcançados.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia do trabalho



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

3.1. COLETA DO RESÍDUO DA CONCHA DA OSTRAS

O RCO foi obtido em Cabaraquara, localizado em Guaratuba, Paraná. Esta área é conhecida por abrigar diversos produtores de ostras que empregam o método de cultivo denominado "*long line*". Esse método envolve a submersão das ostras até atingirem um tamanho específico, momento em que são transferidas para gaiolas de nylon em múltiplos andares.

De acordo com o Departamento de Comunicação da Prefeitura de Guaratuba (2017), são produzidas anualmente 14.300 dúzias de ostras provenientes de cultivo e 4.300 dúzias através do extrativismo comercial. As ostras podem ser adquiridas no Mercado Municipal de Guaratuba.

Depois da coleta da concha de ostra, foi realizada a lavagem com água e em seguida o material foi seco ao ar livre, conforme a Figura 2.

Figura 2 - RCO seco ao ar livre



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Em seguida, no laboratório de materiais de construção da UFPR-CEM, foi realizado a moagem do RCO em moinho de bolas, conforme pode-se observar na Figura 3.

Figura 3 - Moinho de bolas



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Depois de triturado, o resíduo foi passado em peneira de malha 0,075mm para se aproximar da granulometria da Cal CH1, como pode-se observar na Figura 4.

Figura 4 - Resíduo da concha da ostra moído e peneirado



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para análises de comparação foi utilizada a cal CH1 que possui granulometria 0,074 mm.

3.2. DOSAGEM DO CAUQ

A dosagem do CAUQ se baseou no Método de dosagem Marshall que tem por finalidade determinar-se a quantidade ótima de ligante a ser utilizada em misturas asfálticas usinadas a quente, destinadas à pavimentação de vias. Para isso utilizou-se agregados naturais comercializados em Pontal do Paraná/PR, com granulometrias próximas as medidas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição granulométrica para moldagem de um corpo de prova

Peneira	Peso Retido (g)	Peso Acumulado (g)
3/4	7,6	7,6
1/2	145,1	152,7
3/8	151,7	304,4
4	458,4	762,8
8	82,9	845,7
Restante da fração	223,7	1069,4
Cal ou ostra (2%)	21,8	1091,2

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Na Tabela 2, observa-se o “restante da fração” que foi utilizado o material passante nas peneiras 30, 50, 100, 200 e o fundo.

Para separação desses agregados, utilizou-se uma balança digital com precisão de 0,001g. Inicialmente foi colocado a quantidade de brita que ficou retida na peneira 3/4 com peso de 9,3g.

Figura 5 - Brita retida na peneira 3/4



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Em seguida adicionou-se a quantidade de material definido na segunda peneira de 1/2 com peso de 152,9g acumulado na amostra, como pode ser observado na

Figura 5. Esse processo se deu para todas as faixas granulométricas indicadas na Tabela 2 e estão representadas respectivamente nas Figuras do 6, 7 e 8.

Figura 6 - Brita retida na peneira 1/2 e brita retida na peneira 3/8



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Figura 7 - Brita retida na peneira 4 e brita retida na peneira 8



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Figura 8 - agregado retido no restante da fração



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Por fim foi adicionado os 2% de Cal CH1 na mistura granular conforme pode-se observar na Figura 9.

Figura 9 – Adição de 2% de Cal CH 1



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para a mistura granular com RCO não foi adicionado nenhum percentual de Cal CH1 e sim 2% de RCO, conforme Figura 10.

Figura 10 - Amostras com 2% de RCO



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Foram efetuadas 3 amostras com Cal CH1 e 3 amostras com RCO. As amostras e o CAP 50/70 AB8W foram colocadas e mantidas por 1 hora em um forno

industrial à uma temperatura de 175 °C para ocorrer a secagem e aquecimento da mistura granular e o aquecimento do CAP, conforme Figura 11.

Figura 11 - Amostras no forno industrial a 175° C



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Após 1 hora, as misturas e o CAP foram retirados do forno. Na Figura 12, pode ser observado a adição do CAP em cada mistura.

Figura 12 - Adição do CAP nas amostras



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Foi adicionado 5,3% de CAP para a mistura alcançar uma massa total de 1150g, conforme a Figura 13.

Figura 13 - Amostra com 5,3% de CAP



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Imediatamente após a adição do CAP, as misturas foram levadas ao fogo até alcançarem a temperatura de 165°C, conforme a Figura 14 e 15.

Figura 14 - Mistura no fogão industrial



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Figura 15 - Mistura à aproximadamente 165° C



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Após o aquecimento e homogeneização da mistura granular com o CAP, o material foi colocado no molde, composto por cilindro, corpo e base de com 4" (10,16 cm) de diâmetro e 2½" (6,35 cm) de altura, que foram compactados com o auxílio de um soquete Marshall manual, conforme Figura 16 e 17. O molde também se encontrava aquecido.

Figura 16 -Amostra sendo colocada na forma



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para compactar os corpos de prova, foram executados 75 golpes por face, conforme a recomendação da Norma DNER-ME 043/95.

Figura 17 - Soquete Marshall Manual



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Após os 75 golpes por face, os corpos de prova foram deixados 24 horas para descansar e assim realizar a sua desforma.

Na Figura 18 é possível observar um corpo de prova logo após os 75 golpes em cada face.

Figura 18 - Corpo de prova após 75 golpes por face



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

3.3. MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DENSIDADE APARENTE

Após 24 horas, foi realizado a desmoldagem dos corpos de prova, como pode ser analisado na Figura 19.

Figura 19 - Corpos de prova desmoldados.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Os corpos de prova foram pesados secos, conforme Figura 20,

Figura 20 - Massa seca do corpo de prova com RCO



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Após encontrar a massa seca dos corpos de prova, eles foram pesados submersos em água com uma balança hidrostática, como pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 - Massa submersa em água de corpo de prova



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Por fim, os CPs foram secos superficialmente com um pano e pesado novamente para encontrar a sua massa saturada superfície seca, conforme Figura 22.

Figura 22 - Massa saturada de corpo de prova



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para realizar a determinação da densidade relativa aparente é necessário calcular a porcentagem de água absorvida pelo corpo de prova pela Equação 1.

$$\% \text{ de água absorvida} = 100 \times \frac{(C - A)}{(C - B)} \quad (1)$$

Onde:

A é a massa do corpo de prova seco, em gramas (g);

B é a massa do corpo de prova submerso na água, em gramas (g);

C é a massa do corpo de prova saturado com a superfície seca, em gramas (g).

Ao verificar que a porcentagem de água absorvida pelo CP é menor que 2% utilizou-se a Equação 2 para encontrar a densidade relativa.

$$G_{mb} = \frac{A}{C - B} \quad (2)$$

Onde:

G_{mb} é a densidade relativa aparente do corpo de prova, adimensional.

Com a densidade relativa aparente é possível encontrar a massa específica aparente dos corpos de prova, conforme Equação 3.

$$ME_a = 0,9971 \times G_{mb} \quad (3)$$

Onde:

ME_a é a massa específica aparente do corpo de prova, em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³).

3.4. VOLUME DE VAZIOS

Para realizar análise da relação da porcentagem de vazios e a relação e betume/vazios, foi inicialmente necessário encontrar a densidade teórica ou densidade relativa máxima (G_{mm}) descrita na Norma DNIT 427/2020 – ME, conforme à fórmula 4:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\%a}{da} + \frac{\%b}{db}} \quad (4)$$

Onde:

G_{mm} é a densidade relativa máxima;

$\%a$ é a porcentagem de agregado na mistura asfáltica;

$\%b$ é a porcentagem de betume corrigido na mistura asfáltica;

da é a densidade real da mistura asfáltica;

db é a densidade do betume.

Assim, com a densidade relativa máxima é possível encontrar o volume de vazios, conforme a Norma DNIT 428/2022 – ME, segundo equação 5:

$$V_V = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) \times 100 \quad (5)$$

Onde:

V_V é o volume de vazios, expresso em porcentagens;

G_{mb} é a densidade relativa aparente do corpo de prova adimensional.

Ademais, é necessário ainda encontrar o volume de vazios nos agregados minerais de cada corpo de prova, segundo Equação 6.

$$V_{AM} = V_V + \frac{G_{mb} \times \%b}{db} \quad (6)$$

Onde:

V_{AM} é o volume de vazios nos agregados.

3.5. ENSAIO DE ESTABILIDADE E ENSAIO DE FLUÊNCIA

O ensaio de estabilidade mede a carga máxima que indica a resistência do corpo de prova à compressão radial máxima, sendo esta carga representada por uma unidade de força. Já o ensaio de fluência avalia o deslocamento máximo do corpo de prova sob a aplicação da carga máxima, sendo esse deslocamento representado por uma unidade de distância.

Com o propósito de realizar os ensaios, iniciou-se colocando os corpos de prova em imersão “banho maria” a uma temperatura de 60° C por 30 minutos, conforme Figura 23.

Figura 23 - Corpos de prova em imersão à 60° C.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Após os 30 minutos, os corpos de prova foram retirados, secos superficialmente com um pano e colocados na Prensa Marshall Manual, como pode-se observar na Figura 24.

Figura 24 - Prensa Marshall



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para encontrar a estabilidade corrigida é necessário descobrir o fator de correção de cada corpo de prova, que depende do seu volume, o fator de correção pode ser encontrado por uma tabela na norma ME 447 (DNIT, 2024) ou pela equação 8, que foi o caso deste estudo.

$$f = 927,23 \times \left(\frac{4 \times V}{\pi} \right)^{-1,64} \quad (7)$$

Onde:

f é o fator de correção, expresso em adimensional;

V é o volume do corpo de prova em cm^3 .

Dessa forma, a estabilidade corrigida pode ser encontrada pela equação 8.

$$E' = f \times E \quad (8)$$

Onde:

E' é a estabilidade corrigida, expressa em quilograma-força (kgf);

E é a estabilidade obtida no ensaio, expressa em quilograma-força (kgf).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DENSIDADE APARENTE

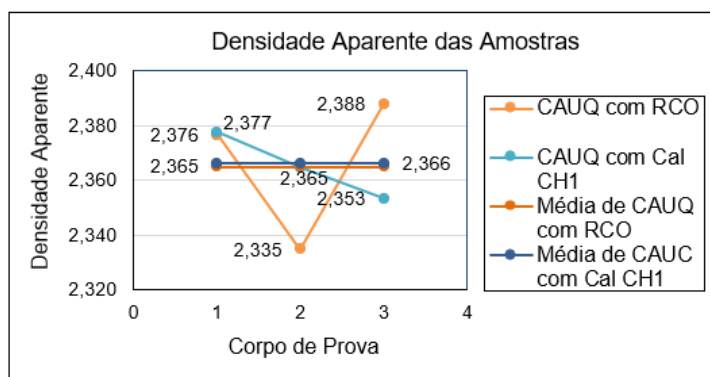
Conforme ensaios apresentados no Capítulo 3, foram obtidos os valores para massa do corpo de prova seco, submerso na água e saturado com a superfície seca e com isso calculadas a densidade relativa aparente (G_{mb}) e massa específica aparente (ME_a) para cada corpo de prova. Na Tabela 3 e Figura 25 pode-se observar os valores da densidade relativa aparente e na Tabela 4 pode-se observar os resultados obtidos da massa específica aparente.

Tabela 3 - Densidade Relativa Aparente

nº corpo de prova	Densidade Aparente em adimensional	
	CAUQ com RCO	CAUQ com Cal CH1
1	2,376	2,377
2	2,335	2,365
3	2,388	2,353
Média	2,366	2,365

Fonte: Autora, (2024).

Figura 25 - Gráfico de densidade aparente das amostras de CAUQ



Fonte: Autora, (2024).

Tabela 4 - Massa Específica Aparente

nº corpo de prova	Massa Específica Aparente em g/cm ³	
	CAUQ com RCO	CAUQ com Cal CH1
1	2,370	2,370
2	2,328	2,358
3	2,381	2,347
Média	2,360	2,358

Fonte: Autora, (2024).

Com base nas Tabelas 3 e 4 e Figura 25 sabe-se que as médias de densidade relativa aparente (G_{mb}) para os CAUQ com RCO e para os CAUQ com Cal CH1 e a massa específica aparente (ME_a) para os CAUQ com RCO e para os CAUQ com Cal CH1. Nota-se que as densidades aparentes dos dois tipos de amostra se mantiveram parecidas por consequência suas massas específicas aparentes também permaneceram quase iguais, com uma diferença de 0,002. Logo, pode-se afirmar que não ocorreu uma mudança significativa na densidade aparente e massa específica aparente com a mudança do Cal CH1 por RCO.

De acordo com Souza *et. al.* (2015), a densidade aparente é aumentada com o aumento do teor de ligante até um determinado valor ocasionado pela lubrificação das partículas dos agregados que sofrem um esforço de compactação até se tornarem mais próximas, desde então se forma uma camada espessa em torno do agregado o que o torna mais afastado, diminuindo a densidade. Ainda segundo Souza, o valor da densidade aparente encontrada em laboratório pode ser chamado de densidade ótima, e é comparado com a do pavimento e pode ser melhorado se necessário com o aumento do teor de fíler, aumento no teor de asfalto ou em quaisquer métodos que reduzam os vazios da mistura asfáltica.

4.2. VOLUME DE VAZIOS

O percentual de vazios no concreto asfáltico possui a função de durabilidade, quanto menor a porcentagem de volume de vazios, menos permeável o pavimento se torna. Portanto, uma alta porcentagem de vazios no concreto asfáltico, pode ocorrer passagens que permitem a entrada de ar e água em excesso, sendo assim prejudicial para o concreto asfáltico.

Dessa maneira, foram obtidas as porcentagens de volume de vazios de cada corpo de prova. Na Tabela 5 pode-se observar os valores das amostras de CAUQ com RCO e com Cal CH1.

Tabela 5 - Volume de Vazios das amostras de CAUQ

nº corpo de prova	Volume de Vazios (Vv) em %	
	CAUQ com RCO	CAUQ com Cal CH1
1	3,85	3,81
2	5,53	4,32
3	3,38	4,78
Média	4,25	4,30

Fonte: Autora, (2024).

Com base na Tabela 5, pode-se verificar que a média do volume de vazios das amostras de CAUQ com RCO e a média das amostras de CAUQ com Cal CH1, se enquadram nos limites especificados da norma ES 21 (DER/PR, 2017), entre 4% a 6%. Dessa maneira, pode-se concluir que para o parâmetro de volume de vazios a utilização de RCO como substitutivo do Cal CH1 é viável.

Vale ressaltar que, um alto volume de vazios no concreto asfáltico pode ocasionar vazios interconectados que permitem que o ar e a umidade permeiem o pavimento, o que diminui a durabilidade do mesmo. Em contrapartida, se o teor de vazios for muito baixo, menor que 3%, haverá espaço inadequado para expansão do ligante asfáltico em clima quente.

4.3. ESTABILIDADE

Para Pinto(1991) a estabilidade de um concreto asfáltico é a capacidade de receber cargas até ocorrer a fadiga, que é a deterioração estrutural que um material está sujeito quando exposto a tensões e deformações repetidas, resultando no trincamento do concreto asfáltico.

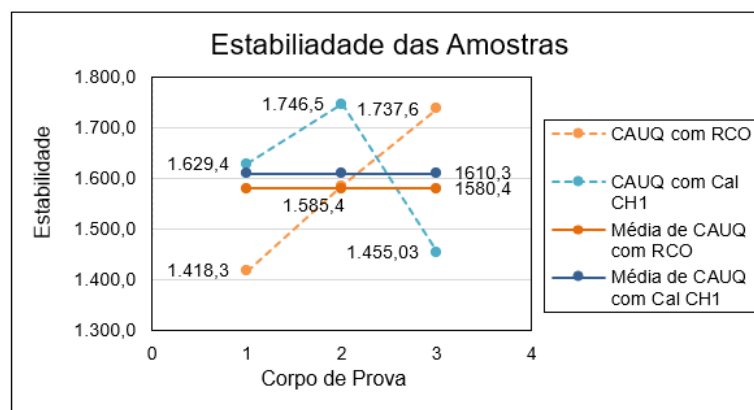
Dessa forma, foi realizado o ensaio de estabilidade na Prensa Marshall Manual com os CPs de CAUQ com RCO e com Cal CH1. Assim, foram obtidos os valores de força para cada CP, estes valores foram corrigidos pelos fatores de correção conforme equação 07. Na Tabela 6 e Figura 26 é possível observar os valores da estabilidade corrigida das amostras de CAUQ com RCO e com Cal CH1.

Tabela 6 - Estabilidade das amostras de CAUQ

n° corpo de prova	Estabilidade Corrigida em kgf	
	CAUQ com RCO	CAUQ com Cal CH1
1	1418,27	1451,45
2	1585,40	1545,70
3	1737,57	1455,00
Média	1580,41	1610,31

Fonte: Autora, (2024).

Figura 26 – Gráfico de estabilidade das amostras de CAUQ



Fonte: Autora, (2024).

Conforme a Tabela 6 e Figura 26, ambas as misturas de CAUQ atendem os requisitos da Especificação de Serviço ES 21 (DER/PR, 2017) quanto ao requisito de estabilidade, o valor de referência de estabilidade para camada de ligação apresentado na norma é que a estabilidade corrigida seja maior que 700 kgf. Desse modo, é possível afirmar que as duas médias atendem o requisito da estabilidade.

Dessa maneira, nota-se que todas as amostras de CAUQ possuem a capacidade de suportar flexões repetidas sem fraturar, que é uma forma de desgaste no concreto asfáltico e se manifesta como fissuras no pavimento. Em resumo, pela estabilidade encontrada pode-se afirmar que o resíduo da concha de ostra pode ser utilizado como fíler em CAUQ.

4.4. FLUÊNCIA

A fluência representa a elasticidade do pavimento asfáltico, por conta disso, um valor baixo pode indicar uma mistura seca e quebradiça, da mesma forma em que um valor alto pode indicar um material macio e plástico que pode até ser descrito como elástico.

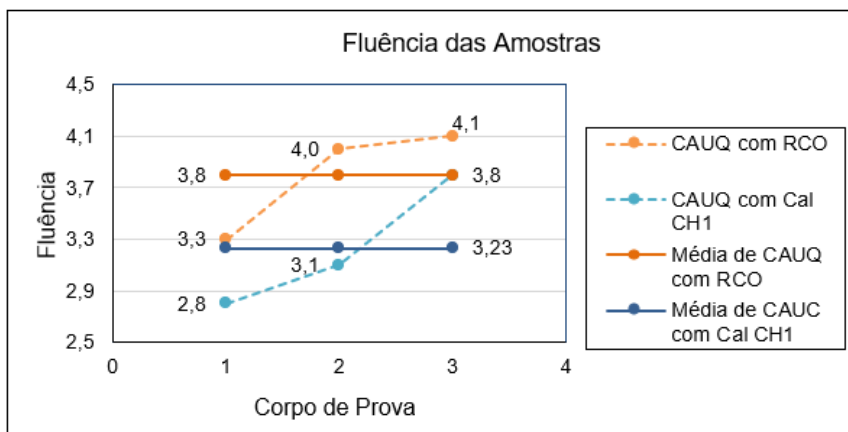
Na Tabela 7 e na Figura 27 nota-se os valores de fluência pelo ensaio Marshall das misturas de CAUQ com RCO e com Cal CH1.

Tabela 7 - Fluência das amostras de CAUQ

nº corpo de prova	Fluência em kgf	
	CAUQ com RCO	CAUQ com Cal CH1
1	3,30	2,80
2	4,00	3,10
3	4,10	3,80
Média	3,80	3,23

Fonte: Autora, (2024).

Figura 27 - Gráfico de fluência das Amostras de CAUQ



Fonte: Autora, (2024).

De acordo com os valores limites para a camada de ligação apresentados na Especificação de Serviço ES-P 21 (DER/PR, 2017) é necessário manter a fluência entre 2,5mm e 3,5mm. Portanto, é possível verificar que a média das amostras de CAUQ com Cal CH1 estão dentro dos limites de referência, contribuindo para a elasticidade do pavimento. Contudo, nota-se que a média das amostras de CAUQ com RCO possuem uma fluência maior que o limite atribuído pela norma ES-P 21 (DER/PR, 2017), e alta fluência afeta o concreto asfáltico tornando o mais fluido ou plástico.

Existem vários problemas encontrados nos pavimentos que resultam de misturas mais fluídas, como o afundamento plástico e o afundamento de consolidação, que são consideradas deformações permanentes que desenvolvem sulco mensurável, onde é definido por depressões permanentes no pavimento asfáltico ao longo do caminho da roda.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, procurou-se analisar o comportamento do resíduo da concha de ostra quando utilizado como fíler no concreto asfáltico usinado a quente com borracha. O intuito da utilização do RCO como fíler foi pela forma que a concha da ostra é descartada no Brasil e no mundo, pelo fato de ainda na maioria dos locais não possuem uma destinação correta, ademais, a concha de ostra é composta em sua maior parte de carbonato de cálcio (CaCO_3) que é usualmente utilizado na construção civil.

Com base nos resultados encontrados, pode-se concluir que as médias das densidades aparentes das amostras se mantiveram muito parecidas, com valores de 2,366 para CAUQ com RCO e 2,365 para CAUQ com Cal CH1, por consequência a diferença entre as das massas específicas aparentes foram de 0,002 g/cm³. Em relação ao volume de vazios, os dois tipos de amostras apresentaram valores dentro do limite de 4% a 6% segundo a norma DNER/PR 21/17, com uma média de 4,25% para amostras de CAUQ com RCO e 4,30% para amostras de CAUQ com Cal CH1. Ressalta-se que um elevado percentual de vazios pode diminuir a durabilidade do concreto asfáltico, porém um percentual abaixo da norma não permitirá a expansão do ligante asfáltico em temperaturas elevadas.

Na resistência a fadiga, os corpos de prova das duas amostras apresentaram estabilidade superiores a 700kgf, o mínimo preconizado pela norma DNER/PR 21/17, com valores de 1580,4kgf nas amostras de CAUQ com RCO e 1610,3kgf nas amostras de CAUQ com Cal CH1. No ensaio de fluência, as amostras de CAUQ com Cal CH1 obtiveram uma média de resultados de 3,23mm e encontraram-se dentro dos limites de 2,5mm a 3,5mm, porém as amostras de CAUQ obtiveram uma média de 3,8mm que está acima da norma e assim indicando ser uma mistura plástica, que é uma determinante das deformações permanentes nos pavimentos.

Em suma, foi um estudo favorável ainda obtivendo um resultado de fluência acima do limite, visto que futuramente pode ser testado o RCO em outros teores de ligante asfáltico ou com uma quantidade reduzida do resíduo, à medida que é necessário encontrar um descarte adequado para esse resíduo visando um ganho ambiental.

REFERÊNCIAS

ALI NAQI, SALMAN SIDDIQUE, HYEONG-KI KIM, JEONG GOOK JANG. Examining the potential of calcined oyster shell waste as additive in high volume slag cement. **Construction and Building Materials**, v. 230, p. 116973, 2020.

ALYSSON LUÍS BOICKO, DACHAMIR HOTZA, FERNANDO S. P. SANT'ANNA. Utilização de conchas da ostra crassostrea gigas como carga para produtos de policloreto de vinila (PVC). **Anais IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, v. 1, p. 1-8, 2004.

BARDINI, V.; JÚNIOR, J. **INFLUÊNCIA DO FÍLER MINERAL NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS**. [S.I.]. 2013.

BERNARDO A. LEJANO, JAYVEE L. GAGAN. Optimization of compressive strength of concrete with pig-hair fibers as fiber reinforcement and green mussel shells as partial cement substitute. **GEOMATE Journal**, v. 12, n. 31, p. 37-44, 2017.

BERNUCCI, L. et al. **Pavimentação asfáltica**. [S.I.]. 2006.

COLORADO ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. Volumetrics in Asphalt Mixtures, 2022.

DA CHEN, PENGCHENG ZHANG, TAO PAN, YINGDI LIAO. Evaluation of the eco-friendly crushed waste oyster shell mortars containing supplementary cementitious materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 117811, 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 21:PAVIMENTAÇÃO: CONCRETO ASFÁLTICO USINADO À QUENTE**. Curitiba-PR. 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 367/1997 - Material de enchimento para misturas betuminosas, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 447/2024 – ME:Misturas asfálticas – Ensaio de estabilidade e fluência Marshall – Método de ensaio**. Brasília-DF. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 – ES:Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro-RJ. 2006.

DER/PR (DT/CPD). **PAVIMENTAÇÃO: CONCRETO ASFÁLTICO USINADO À QUENTE**. [S.I.]. 2017.

DNER-EM. **Material de enchimento para misturas betuminosas.** [S.l.]. 1997.

DOS SANTOS BARDINI, V. S., KLINSKY, L. M. G., JUNIOR, J. L. F., & ROQUE, R.. Influência do fíler mineral no comportamento reológico de mástiques asfálticos. **Transportes**, 2012. 20(4), 19-26.

EVANIKI, D., ZIBETI, G., VINICIUS, S., & COLLI, R. ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DA CONCHA DE OSTRAS COMO MELHORADOR DE ADESIVIDADE ENTRE AGREGADO E O CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO - CAP 50/70. **UniSENAIPR**, 2023. 350-364.

HU, C.; ZHONG, D.; LI, S. **A study on effect of oyster shell powder on mechanical properties of asphalt and multiple degrees of modification mechanism.** [S.l.]. 2023.

I.J. CHIOU, C.H. CHEN, Y.H. LI. Using oyster-shell foamed bricks to neutralize the acidity of recycled rainwater. **Construction and Building Materials**, v. 64, p. 480-487, 2014.

KIM, Y. R. . D. N. L. E. I. S. I. Effect of mineral fillers on fatigue resistance and fundamental material characteristics. **Transportation Research Record**, p. n. 1832, p.1–8., 2003.

LI, GENG YING; XU, XIAOYANG; CHEN, E.; FAN, JIE; XIONG, GUANGJING. Properties of cement-based bricks with oyster-shells ash. **Journal of Cleaner Production**, p. 91, 279-287, 2015.

LIU, HUA YUEH; WU, HAN SHENG; CHOU, CHEN PEI. Study on engineering and thermal properties of environment-friendly lightweight brick made from Kinmen oyster shells & sorghum waste. **Construction and Building Materials**, 2020. 246.

MOTTA, L.M.G., LEITE, L.F.M. Efeito do Fíler nas Características Mecânicas das Misturas Asfálticas. **Anais do 11º congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transporte**, p. pp. 1007-1017, 2000.

NCIRI, N. et al. **Potential of waste oyster shells as a novel biofiller for hot-mix asphalt.** [S.l.]. 2018.

OLIVEIRA, M. P.; ALMEIDA, M. N. **Malacologia.** Juiz de Fora-MG: Editor Editor Associada, 2000.

PETRIELLI, F. A. DA S. Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização Comercial das Conchas de Ostras Descartadas na Localidade do Ribeirão da Ilha,

Florianópolis, Santa Catarina. **Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – UFSC**, 2008.

PINTO, S. Estudo do Comportamento à fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 1991.

PUSIT LERTWATTANARUK, NATT MAKUL, CHALOTHORN SIRIPATTARAPRAVAT. Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plastering. **Journal of environmental management**, v. 111, p. 133-141, 2012.

RODRIGUES, A. R. D. S. Caracterização química e reológica do cimento asfáltico de petróleo utilizado na cidade de Manaus modificado por borracha moída de pneus inservíveis e polímeros., 2006.

RODRIGUES, A.; PIRES LEANDRO, R. **Efeito do tipo e da proporção de fíler no comportamento do mástique asfáltico**. [S.l.]. 2019.

SAFI, BRAHIM; SAIDI, MOHAMMED; DAOUI, ABDELHAKIM; BELLAL, AHMED; MECHEKAK, ALI; TOUMI, KAMEL. The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM). **Construction and Building Materials**, p. 78, 430-438, 2015.

SANT'ANNA, F. et al. **PROJETO VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA MARICULTURA**. [S.l.]. 2007.

SILVA, D. **RESÍDUO SÓLIDO DA MALACOCULTURA: CARACTERIZAÇÃO E POTENCIALIDADE DE UTILIZAÇÃO DE CONCHAS DE OSTRAS (*Crassostrea gigas*) E MEXILHÃO (*Perna perna*)**. [S.l.]. 2007.

SOUZA, J. A. S. J. M. K. R. B. Análise do Desempenho de Concreto Betuminoso Usinado à Quente com a Adição de Rejeito da Mineração do Cobre Segundo os Parâmetros Marshall. **E&S – Engineering and Science**, 4, n. 2, 2015.

SPECHT, L. **AVALIAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS COM INCORPORAÇÃO DE BORRACHA RECICLADA DE PNEUS**. , 2004.

STRATURA ASFALTOS. Misturas Asfálticas: a cal hidratada como melhorador de adesividade. **Boletim Técnico nº 16**, 2021.

TAMANINI, F. A. Revestimento asfáltico: caracterização mecânica e volumétrica de concreto asfáltico enquadrado na faixa I da Prefeitura Municipal de Porto Alegre., 2012.

TRANSPORTES., D. N. D. I. D. **DNIT 054/2004 – PRO:Pavimento rígido – Estudos de traços de concreto e ensaios de caracterização de materiais – Procedimento**. Rio de Janeiro-RJ. 2004.

TUNNICLIFF, D. G.. A Review of Mineral Filler. **Proceedings of As-phalt Association of Paving Technologists**, p. v. 31, p. 118–150, 1962.

VISCONTI, A.; MULLER, J. J. V.; SILVA JÚNIOR, A. A.; ZAMBONIM, F. M. Resíduos Marinhos - fontes de matéria orgânica com potencial para a inibição de fitopatógenos de solo. **Revista Agropecuária Catarinense, Florianópolis**, p. v. 24, n. 1, p.41-43, 2014.

WEN-TEN KUO, HER-YUNG WANG, CHUN-YA SHU, DE-SIN SU. Engineering properties of controlled low-strength materials containing waste oyster shells. **Construction and Building Materials**, v. 46, p. 128-133, 2013.

YANG, EUN-IK; YI, SEONG-TAE; LEEM, YOUNG-MOON. Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties. **Cement and Concrete Research**, p. p. 2175-2182, 2005.

YARAHMADI, A. M.; SHAFABAKHSH, G.; ASAKEREH, A. **Laboratory investigation of the effect of nano Caco3 on rutting and fatigue of stone mastic asphalt mixtures**. [S.I.]. 2022.

YOON, GL, KIM, BT, KIM, BO, & HAN, SH. Chemical–mechanical characteristics of crushed oyster-shell. **Waste management**, p. 825-834, 2003.