HOLOS
ISSN 1807 - 1600

INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS POR USINA TERMELÉTRICA EM MISTURAS ASFÁLTICAS SUSTENTÁVEIS

E. CLARA*, B. S. BARRA, N. J. JARGEMBOSKI, G. B. HUGHES, A. MIKOWSKI, J. V. S. de MELO
Universidade Federal de Santa Catarina
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7103-293X*
estefani.clara@hotmail.com*

Submitted October 24, 2023 - Accepted December 27, 2023

DOI: 10.15628/holos.2023.16321

RESUMO

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar a influência da utilização de resíduos gerados por uma usina termelétrica movida a carvão mineral em misturas asfálticas. Foram analisadas as matrizes denominadas cinzas volantes, cinzas pesadas e uma composição com 50% de ambas as ocorrências, que foram comparadas com frações convencionais de granulares gnáissicos britados, todos utilizados como material de enchimento (fíler) a 6,0% passante na malha de abertura 0,075 mm, nas curvas granulométricas das misturas asfálticas. As matrizes estudadas são viáveis tecnicamente para utilização em misturas asfálticas, abrindo inclusive a possibilidade de um mercado para a utilização em larga escala da cinza de fundo, especialmente na região sul do Estado de Santa Catarina. Assim, de forma a se beneficiar mais diretamente pela proximidade com a fonte produtora destes insumos, a região Sul pode explorar a utilização destes resíduos, visto o acesso fácil e as menores distâncias de transporte.

Palavras chave: Cinzas de carvão mineral; Misturas asfálticas densas; Metodologia francesa de formulação.

INFLUENCE OF THE USE OF WASTE GENERATED BY THERMOELECTRIC POWER PLANT ON SUSTAINABLE ASPHALT MIXES

ABSTRACT

The main objective of this research is to evaluate the influence of using waste generated by a coal-burning thermoelectric power plant in asphalt mixes. The matrices called fly ash, bottom ash and a composition with 50 % of each type were analyzed, and compared to conventional crushed gneissic rock particles, all used as filling material (filler) at 6.0 % passing through the mesh opening 0.075 mm, in the granulometric curves of asphalt mixes. The matrices studied are technically viable for use in asphalt mixes, creating the potential for large-scale market use of bottom ash, especially in the southern region of the State of Santa Catarina. Thus, to benefit more directly from the proximity to the source producing these inputs, the South region can explore the use of power plant waste, given the easy access and shorter transport distances.

KEYWORDS: Mineral coal ash; Dense asphalt mixes; French formulation methodology.

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

1 INTRODUÇÃO

As expansões da infraestrutura rodoviária frequentemente ocasionam diversos problemas ambientais adversos, representando um perigo para o meio ambiente e para os seres humanos. Diversos tipos de matérias-primas são utilizados na construção de estradas, como agregados, ligantes betuminosos e aditivos químicos, que consomem grandes quantidades de recursos naturais e energia para sua extração, produção e processamento. Desse modo, a construção de estradas resulta em consumo de energia, emissão de poeira e gases, esgotamento e deterioração de solos, consumo de recursos naturais não renováveis, poluição sonora e geração de resíduos sólidos (YUE et al., 2022; LU et al., 2011).

Embora a necessidade de construir e manter estradas e outras infraestruturas rodoviárias seja um fator-chave para o desenvolvimento socioeconômico de uma sociedade, ao longo do tempo, passou a acarretar externalidades negativas ao meio ambiente. A construção de pavimentos rodoviários frequentemente envolve a exploração de grandes volumes de materiais, principalmente agregados, e transporte em massa, o que resulta no aumento das emissões de gases de efeito estufa (BAMIGBOYE et al., 2021; MAJER E BUDZIŃSKI, 2018).

A extração de agregados naturais levanta sérias preocupações ambientais, como desmatamento, perda de paisagem natural e produção de poeira. Em muitas áreas, a disponibilidade de agregados naturais de alta qualidade é limitada, levando a uma escassez de agregados e a um aumento geral no custo de projetos rodoviários (ZIARI et al., 2022; PATTANAIK et al., 2021; LIMA et al., 2021).

A substituição de agregados naturais por resíduos e subprodutos é uma das técnicas mais difundidas para alcançar pavimentos sustentáveis, pois proporciona um duplo benefício. Por um lado, reduz-se a extração e produção de matérias-primas, o que resulta na diminuição do consumo de água, eletricidade e diesel, além de reduzir a produção de ruído e poeira. Além disso, evita-se o depósito de resíduos em aterros, prolongando a vida útil do aterro e reduzindo as emissões (ESTHER et al., 2020; BARRETO E AMORIM, 2020).

O carvão é uma importante fonte de energia, mas tem uma influência prejudicial ao meio ambiente devido aos resíduos que gera. Um dos problemas mais sérios resultantes do descarte de resíduos de carvão é o dano ao meio ambiente. Em geral, os depósitos de resíduos de carvão devem ser considerados uma fonte de longo prazo de contaminação da terra e da água (KUMAR et al., 2022).

As projeções estatísticas estimam que, mesmo com a produção de energia limpa sendo massivamente incentivada, o carvão manterá seu atual papel global até 2040, sendo ligeiramente ultrapassado pelo gás natural e pelos painéis solares fotovoltaicos. As principais razões para este enigma do carvão são sua grande disponibilidade global, superior a 1 trilhão de toneladas, ou seja, capaz de atender a demanda atual pelos próximos 130 anos, e distribuição geográfica das reservas, além do baixo custo e estabilidade de preços quando comparados outras fontes de combustível (IEA, 2022).

As preocupações em torno do aquecimento global, das alterações climáticas e da poluição ambiental causada pelo consumo de combustíveis fósseis levaram os governos de todo o mundo

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

a tomar medidas e implementar regulamentações mais rigorosas para mitigar estes efeitos (CUAN et al., 2023; SHAKIBI et al., 2023, SHAKIBI et al., 2022).

A situação atual busca identificar alternativas sustentáveis e econômicas para substituir os agregados naturais por rejeitos de mineração, rejeitos de processamento e resíduos industriais (cinzas volantes, cinzas residuais, escória de aço, entre outros), a fim de utilizá-los na construção de pavimentos (MOHANTY et al., 2023).

Atualmente, pesquisadores em todo o mundo têm realizado muitos estudos sobre a utilização de rejeitos na mistura asfáltica. Portanto, evidenciou a importância do desenvolvimento de novos materiais, que se tornou foco de diversos trabalhos com o intuito de buscar soluções para a destinação desse resíduo em larga escala, diversos estudos caracterizaram ocorrências distintas de cinzas de carvão (AKINWUMI et al., 2023; MOHANTY et al., 2023; KUMAR et al., 2022; ZIARI et al., 2022; BAMIGBOYE et al., 2021; WANG et al., 2019; LI et al., 2019; WOSZUK et al., 2019; OMRANI e MODARRES, 2018 e LE et al., 2018).

Buscando contribuir na discussão sobre o assunto visando um melhor aproveitamento das cinzas provenientes da queima de carvão, com o objetivo de reduzir os problemas ambientais e promover a produção de materiais mais eficientes e sustentáveis, essa pesquisa destaca a cinza volante (Fly Ash), que já tem sido amplamente estudado em pesquisas de pavimentação e utilizado pela indústria cimenteira e a cinza de fundo (Bottom Ash), que atualmente carece de aplicações ou mercados conhecidos para seu uso em larga escala.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é promover a extensão das discussões científicas e perspectivas relacionadas à influência da utilização de resíduos gerados por usina termelétrica em misturas asfálticas sustentáveis, com o intuito de contribuir de maneira viável para a redução dos impactos ambientais. Para alcançar esse objetivo, serão analisadas as características físico-químicas e mineralógicas das cinzas volantes e de fundo, comparando-as com as partículas de rocha maciça gnáissica, visando avaliar a eficiência de uma dosagem bem formulada de mistura asfáltica para a obtenção de pavimento de maior qualidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O desenvolvimento desta pesquisa iniciou-se com a seleção das jazidas para a coleta das amostras dos materiais de estudo. Em seguida, foram executados os ensaios de caracterização desses materiais e definidas as respectivas classificações geológicas, mineralógicas, químicas e físicas das suas ocorrências.

Os agregados pétreos necessários foram fornecidos pela empresa Rudnick Minérios S.A., localizada no distrito de Pirabeiraba, na cidade de Joinville, Santa Catarina. O critério para a seleção dos agregados pétreos para esta pesquisa foi em função da disponibilidade das ocorrências dos materiais e da parceria da referida empresa com o LDTPav (Laboratório de Desenvolvimento e Tecnologia em Pavimentação).

As cinzas volantes e de fundo foram obtidas no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, localizado na cidade de Capivari de Baixo/SC.

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

O ligante betuminoso utilizado na formulação possui penetração de 30/45 (0,1 mm). As temperaturas adotadas para os procedimentos de mistura e compactação foram 155 ºC e 145 ºC, respectivamente, foram determinados com base na viscosidade Brookfield (ASTM D4402M-15, 2015).

2.2 Métodos

Os agregados pétreos encontram-se dentro dos limites impostos pelas normativas: Desgaste por abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/1998 e DNER-ME 037/1997); Índice de forma (ABNT NBR 7809/2006); Resistência ao ataque químico (Durabilidade) (DNER-ME 089/1994 e DNER-ME 037/1997); Equivalência de areia (DNER-ME 54/1997); Teor de material pulverulento (DNER-ME 266/1997 e DNER-ME 37/1997) e Absorção, dessa maneira, é passíveis de utilização em mistura asfálticas, exceto o parâmetro de adesividade ao ligante betuminoso (DNER-ME 078/1994), o qual deve ser corrigido em situações práticas de obras com a inserção de aditivos melhoradores de adesividade na dosagem do ligante betuminoso ou pela substituição de adições granulares com natureza eletropositiva, que permitam a formação de um dipolo de atração química com a matriz eletronegativa dos materiais hidrocarbonetos.

Entretanto, é importante destacar que nesta pesquisa não foram utilizados aditivos ou adições melhoradores de adesividade, a fim de que se pudesse verificar o real efeito da utilização das cinzas oriundas da queima do carvão mineral nas misturas asfálticas.

Para análise das características das cinzas, foi realizada uma parceria técnica entre o Centro Tecnológico da SATC (CT-SATC), pertencente à Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC), e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas (Pós-ECM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Essa parceria teve como base estudos já desenvolvidos pela SATC em relação às aplicações das cinzas.

Particularmente, as cinzas provenientes da queima do carvão mineral foram analisadas levando em consideração aspectos como: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), ensaios de Difração de Raios-X (DRX), Fluorescência de Raios-X (FRX), texturização, além de uma estimativa teórica da dureza de seus componentes.

A escolha da metodologia francesa para a formulação das misturas asfálticas estudadas foi motivada pelos critérios de avaliação rigorosos e pelas técnicas e tecnologias de ensaios disponíveis nessa abordagem. A metodologia francesa permite simular os esforços aplicados sobre os materiais de forma mais realista, aproximando-se das condições encontradas no campo. Além disso, há uma relação estreita entre as práticas de campo e laboratório, o que garante maior confiança aos resultados obtidos. Essa abordagem visa assegurar a qualidade e o desempenho das misturas asfálticas, levando em consideração os requisitos específicos do ambiente de aplicação.

A habilidade de compactação das misturas asfálticas foi avaliada pelo ensaio de PCG, a partir do uso da Prensa de Compactação por Cisalhamento Giratória (PCG) (AFNOR NF P 98-252, 1999), impondo uma compactação lenta e isotérmica sob compressão estática, executada por um movimento giratório (cisalhante) de uma face em torno do eixo de simetria aplicando um ângulo α, o ensaio foi realizado com o equipamento da série PCG-3, disponibilizado pelo LTP-EPUSP.

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

A avaliação da ação deletéria da água nas misturas asfálticas foi realizada com a execução do ensaio de Duriez a 18 °C (AFNOR NF P 12697-12, 2018) é um ensaio de compressão simples que visa avaliar a ação deletéria da água nas misturas asfálticas.

A resistência à formação de trilha de rodas foi avaliada pelo ensaio de deformação permanente normatizado pela (AFNOR NF P 12697-22, 2020), que tem como objetivo avaliar a resistência das misturas asfálticas ao afundamento de trilha de rodas. O ensaio consiste em submeter a mistura asfáltica a carregamentos repetidos, utilizando uma roda equipada com um pneu que realiza movimentos de vai e vem, denominados de ciclos, sob condições de carga e pressão próximas às tensões geradas por veículos pesados, o que produz deformações permanentes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes de iniciar os testes de caracterização dos agregados e das cinzas, foi realizado um peneiramento das amostras das cinzas utilizadas neste estudo, buscando conhecer suas frações representativas. Isso foi feito com o objetivo de obter uma reutilização mais eficiente desse resíduo sólido na pavimentação. A Figura 1 demonstra as frações representativas das cinzas volantes e de fundo.

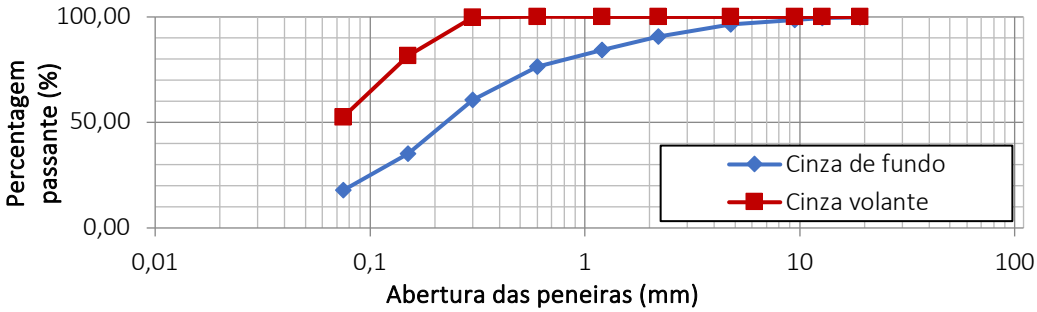

Figura 1: Distribuição granulométrica das cinzas.

Em análise da Figura 1, observa-se que as frações representativas das cinzas de fundo são as retidas entre as peneiras de abertura 0,60 mm até o material depositado no fundo, já as frações correspondentes a cinza volante mais representativas são as retidas entre as peneiras de abertura 0,15 mm até o material depositado no fundo.

Em função da morfologia dos grãos, aonde os argilominerais fundidos geraram partículas vítreas, ricas em inclusões gasosas, pode-se observar um aspecto esponjoso ou estrutura vesicular, conforme demonstrado por Clara (2020). Além do aspecto da morfologia, verifica-se a fragilidade dos grãos de dimensões maiores, em frações situadas entre as peneiras de abertura 0,60 mm a 0,15 mm.

Em razão disto e das porcentagens de finos geralmente empregados na formulação das misturas asfálticas, estabeleceu-se o limite de utilização das frações de cinzas em 6,0%. Esse valor também está de acordo com outros estudos de formulação de misturas asfálticas com emprego de cinzas, nos quais a adição máxima para evitar riscos de perda de resistência ficou próxima ao valor adotado.

Outro fator importante a ser justificado é a fração de substituição adotada. Ao analisar as frações mais representativas para ambas as cinzas em conjunto com o percentual máximo para o

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

HOLOS
ISSN 1807 - 1600

uso na formulação, optou-se pela substituição da fração de fundo (< 0,075mm). Isso se deve ao fato de que nas cinzas de fundo, a percentagem desta fração é de 17,8%, enquanto nas cinzas volantes é de aproximadamente 52,6%.

A forma e a textura das partículas dos fíleres em estudo (Pó de brita, cinzas volantes e de fundo) foram verificadas por meio da análise das imagens produzidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), conforme ilustrado na Figura 2.

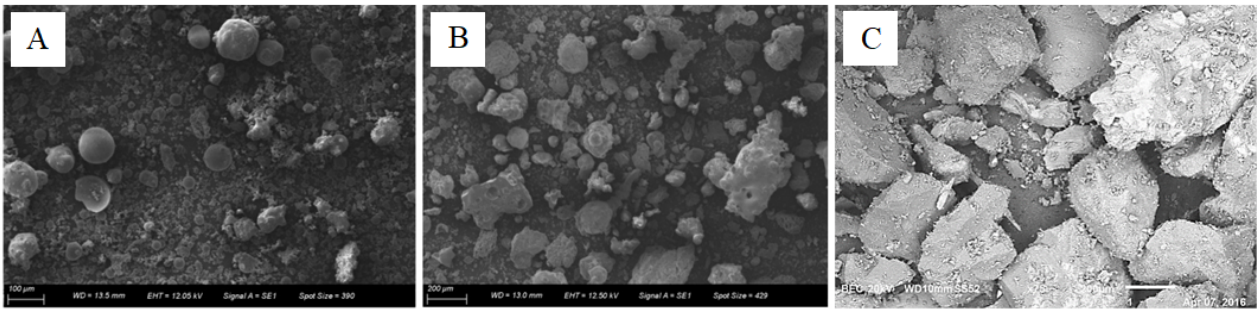

Figura 2: Microscopia eletrônica de varredura (A) Cinza volante, (B) Cinza de fundo, (C) Agregado granítico.

Fonte: A-B: Aquino et al. (2017). C: Siroma (2018).

A partir da análise das imagens, é possível observar que as cinzas de carvão possuem formas esféricas de diferentes diâmetros, bem como partículas irregulares de tamanhos variados. Conforme observado por Sarbak et al., (2004), isso ocorre devido aos diferentes estados físicos da sílica presente em amostras de cinzas de carvão, os quais são responsáveis pela formação das partículas de tamanhos irregulares.

Foi observado a morfologia do pó de pedra a partir da Figura 2-C, que apresenta a imagem da microscopia eletrônica de varredura de agregados graníticos da empresa Vogelsanger Britagem, apesar de os granulares graníticos utilizados nesta pesquisa serem fornecidos pela empresa Rudnick Minérios S.A. O intuito desta análise é demonstrar algumas características relacionadas à composição, macrotextura e microtextura das partículas finas de granito. Ambas as jazidas são provenientes da região de Joinville/SC e possuem a mesma classificação na análise de lâmina petrográfica, conforme demonstrado por Meurer (2015), além de apresentarem resultados muito semelhantes em ensaios de caracterização, o que indica uma boa proximidade entre as amostras das duas empresas.

Ao analisar a imagem da microscopia (Figura 2-C), é possível verificar que o formato predominante do granular é subangular e a textura se mostra rugosa. Essas características tendem a favorecer o intertravamento granular, resultando em misturas asfálticas mais estáveis.

As análises de Difração de Raios-X (DRX) foram realizadas no Centro Tecnológico da SATC (CT-SATC). A Figura 3 apresenta os resultados das análises mineralógicas dos fíleres.

As quantidades percentuais mostradas na Figura 3 são estimadas pelo software, com base as alturas relativas dos picos das cartas padrão. Além disso, é apresentada uma base de 100%, excluindo-se materiais na forma amorfa. No gráfico, “pp” significa possível presença.

A presença de mulita nas cinzas é resultado das reações que ocorrem durante a combustão do carvão. O quartzo, por sua vez, está presente no carvão precursor e não funde nas condições de queima nas usinas termelétricas. A presença de hematita e magnetita nas cinzas é decorrente

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

HOLOS
ISSN 1807 - 1600

da oxidação de sulfetos de ferro na forma de pirita, normalmente presente na marcassita e pirrotita presentes no carvão queimado (RHODE et al., 2006).

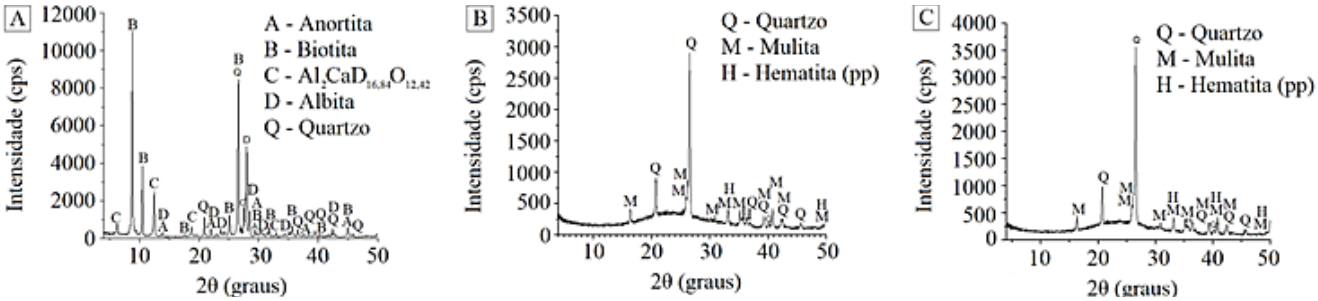

Figura 3: Análise mineralógica DRX (A) Pó de pedra, (B) Cinza volante e (C) Cinza de fundo.

A composição química relacionada aos elementos majoritários presentes nas amostras foi realizada no Centro Tecnológico da SATC (CT-SATC). Inicialmente, as amostras foram submetidas ao teste de perda ao fogo (PF) de acordo com a norma ASTM D7348-07. Esse teste tem como objetivo eliminar os materiais orgânicos e a água na constituição presentes no material.

Os valores percentuais obtidos para perda ao fogo foram 1,63% (cinzas volantes), 4,74% (cinzas de fundo), 3,21% (50% Cinza volante + 50% cinza de fundo) e 2,51% (partículas gnáissicas). Além dos elementos indicados na Tabela 1, foram detectados os elementos Rb_2O, Y_2O_3 e PbO nas cinzas, porém em quantidades inferiores a 0,03%.

Analisando os resultados dos ensaios de Fluorescência de raios-X, conforme demonstrado na Tabela 1, verificou-se que o pó de brita apresentou 53,60% de SiO_2, o que justifica a má adesividade observada nos ensaios de caracterização dos agregados pétreos.

Tabela 1: Composição química majoritária dos fíleres.

Fíleres (%Massa)	Componentes														
	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	Cao	MgO	K_2O	TiO_2	SO_3	MnO	ZrO_2	V_2O_5	SrO	ZnO	Cr_2O_3	Na_2O
Cinza de fundo	58,91	6,99	19,62	1,79	0,61	4,29	1,54	0,22	0,04	0,13	0,09	0,03	0,04	0,04	0,86
Cinza volante	60,26	7,21	19,87	2,87	-	4,60	1,60	0,81	0,04	0,10	0,09	0,03	0,07	0,08	0,67
50% Cinza volante e cinza de fundo	58,48	7,38	20,13	2,60	0,62	4,24	1,48	0,78	0,03	0,11	0,10	0,03	0,06	0,05	0,64
Pó de pedra	53,60	14,51	10,93	8,08	3,26	2,58	1,23	0,44	0,25	0,10	0,07	0,06	0,04	0,03	2,31

As principais diferenças nas composições das cinzas, sem qualquer tratamento, estão nos conteúdos de Al, Si, Fe e perda ao fogo (PF). Dentre esses elementos, a maior diferença está na concentração de material incombusto contido nas cinzas de fundo, determinada pela perda ao fogo (PF).

Os elementos que se apresentaram em abundância são: Sílica (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), Óxido de Ferro (Fe_2O_3), Óxido de Cálcio (CaO) e Carbono (C). Porém, existem outros elementos, denominados elementos-traços, como por exemplo Zinco, Cobre, Cromo, Chumbo, Mercúrio, Fósforo, entre outros, que são responsáveis pelo potencial tóxico da cinza. Essa predominância de óxido de silício e alumínio é que confere o caráter pozolânico, enquanto que a estrutura amorfa da cinza facilita a solubilização da sílica e alumínio para que possa reagir com o óxido de cálcio livre. As características químicas das cinzas estão ligadas ao tipo de carbono que as originou e as transformações que ocorrem conforme a temperatura de queima, portanto, trata-se de um produto bastante heterogêneo (MALLMANN, 1996).

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

Os ensaios de lixiviação e solubilização foram realizados com a mesma cinza de carvão do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (OLIVEIRA et al., 2012) e com partículas de carga gnáissica (GONÇALVES, 2000), ambas classificadas como não perigosas Tipo II, conforme as normas ambientais brasileiras (ABNT NBR 10004, 2004).

Cabe ressaltar que Carnin et al., (2005) realizou testes de lixiviação em formulações de misturas asfálticas com reaproveitamento de areias de fundição contendo composições químicas e mineralógicas semelhantes em relação às cinzas de carvão e cargas gnáissicas desta pesquisa. Como resultado, verificou-se que o revestimento gerado pelo ligante betuminoso, encapsula as partículas do agregado, não permitindo que sejam carreadas pela água ou outros fluidos, evitando assim a infiltração pelas estruturas do solo e o contato direto com as águas subterrâneas.

Analogamente, o uso dos mesmos aglutinantes infere que cinzas de carvão e partículas gnáissicas também se tornariam encapsuladas e impermeáveis à lixiviação de elementos.

As análises texturais das amostras foram realizadas no CT-SATC, no Laboratório de Captura de CO_2. Foi utilizada a técnica de adsorção de nitrogênio (N_2). As técnicas de adsorção de gases utilizadas para determinação dessas estruturas consistem na determinação da quantidade de adsorbato, necessária para formar uma camada monomolecular (monocamada) sobre a superfície a ser medida. Utilizam-se em geral, para este fim, isotermas desenvolvidas por BET (BRUNAUEER et al., 1938). A partir da equação desta isoterma o número necessário de moléculas para formar uma monocamada pode ser avaliado e, como a área ocupada pela molécula é conhecida (ou estimada), pode-se então calcular a área específica do material. Este método também permite uma avaliação da porosidade do material.

Os resultados apresentados na Tabela 2 demonstram que o pó de pedra possui um maior diâmetro de poros e maior volume de poros. A porosidade exerce grande efeito nas propriedades mecânicas do material, tais como: resistência, dureza e deformação.

Além disso, a porosidade também influencia as propriedades físico-químicas, como características de dissolução e capacidade de retenção de água. Em relação às propriedades de transporte, a porosidade afeta a condutividade térmica, difusão de aromas e componentes de baixo peso molecular.

Conforme mencionado por Barra (2009), os sólidos porosos têm uma excelente capacidade de adsorção. Portanto, os fíleres que possuem alta porosidade terão a capacidade de adsorver uma maior quantidade de ligante betuminoso, o que teoricamente resulta em uma ancoragem mais firme das partículas e, consequentemente, um aumento da rigidez do material.

Tabela 2: Características texturais da superfície.

Amostra	Área Superficial (m^2/g)	Volume de poros (cm^3/g)	Diâmetro médio de poros (Å)
Cinza de fundo	1,454	0,013950	88,44
Cinza volante	6,311	0,003170	87,24
50% Cinza volante + 50% Cinza de fundo	3,933	0,009819	99,84
Pó de pedra	3,052	0,012850	168,4

É importante observar que durante a produção das misturas asfálticas, a fase de secagem nem sempre é totalmente eficaz, o que pode resultar na presença de uma fração de água alojada nos poros, dificultando a adesão completa. Além disso, uma quantidade significativa de ligante

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

HOLOS
ISSN 1807 - 1600

betuminoso é mobilizada para cobrir essa superfície desenvolvida e não contribui mais para a adesão aos agregados, o que aumenta a porosidade da mistura. Nesse contexto, a presença de água pode acentuar o processo de desagregação.

A determinação da dureza dos fíleres se fez necessário para justificar os comportamentos observados durante a campanha experimental da presente pesquisa, o procedimento para determinação do mesmo foi realizado através da literatura, visto a grande dificuldade de se obter a dureza através os métodos convencionais devidos seus grãos serem frágeis conforme mencionado anteriormente. Os resultados obtidos por meio dessa estimativa estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Estimativa da dureza dos fíleres.

Amostra	Dureza estimada
Cinza de fundo	7,13
Cinza volante	7,17
50% Cinza volante + 50% Cinza de fundo	7,15
Pó de pedra	6,08

Ao analisar as durezas estimadas, observa-se que o valor estimado para o pó de pedra apresenta uma pequena variabilidade em comparação com as durezas das cinzas. Entre as cinzas, a cinza volante apresenta a maior dureza estimada. Essa maior dureza pode ser justificada pelo fato de que sua composição predominante é Al_2O_3 e SiO_2, cujas durezas são em torno de 9 e 7 Mohs, respectivamente. A dureza está diretamente relacionada às forças de ligação entre átomos, íons ou moléculas.

A definição dos teores de ligante utilizados na pesquisa foi inicialmente baseada no trabalho de Eing (2018), que estabeleceu os teores de 4,54%, 4,70% e 4,86%. No entanto, durante a campanha experimental da presente pesquisa, utilizando a PCG (Prensa de Compressão Giratória), foram observados resultados promissores indicando a possibilidade de trabalhar com teores de ligante menores, a fim de melhorar os resultados já obtidos, bem como de reduzir o consumo de ligante, tendo sido incorporado o teor de 4,22% à série.

A habilidade de compactação de uma mistura asfáltica é quantificada considerando o resultado médio de três corpos de provas para cada formulação. O resultado é então comparado com as prerrogativas normativas que estabelecem a aferição do teor de vazios a 80 giros, devendo enquadrar-se no intervalo entre 4,0% e 9,0% para as misturas asfálticas do tipo BBSG.

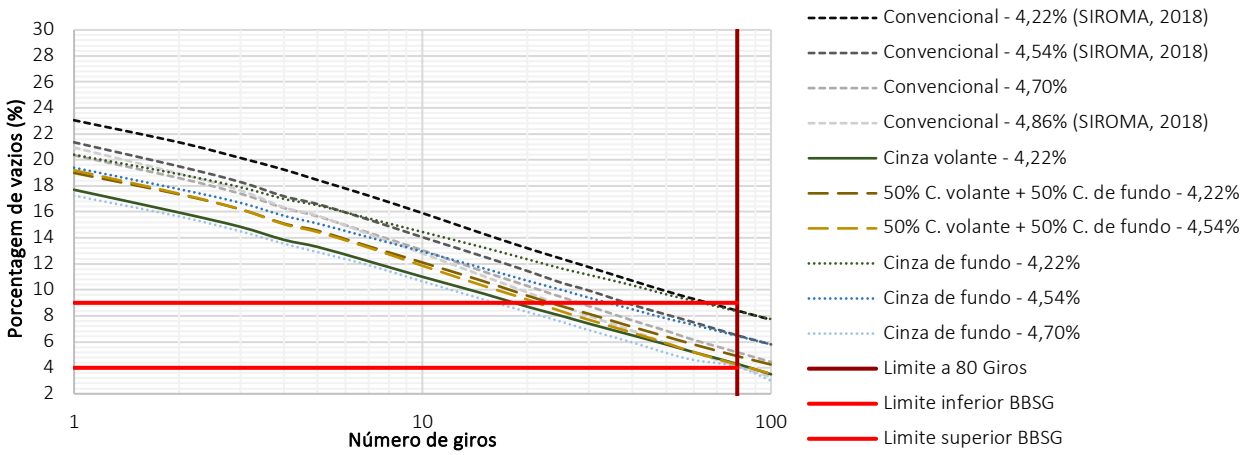

Figura 4: Resultados dos ensaios de PCG.

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

Na Figura 4, os limites normativos são representados pelos alinhamentos denominados limite superior e limite inferior BBSG. Foram produzidos 30 corpos de provas, sendo 3 corpos de provas para cada teor estudado; os resultados médios obtidos nos ensaios estão apresentados nas Figura 4.

Ainda com base na Figura 4, é possível observar que, nesta pesquisa, foram realizadas misturas convencionais com um único teor de ligante de 4,70%. Essa escolha foi feita com base no estudo de Siroma (2018), que realizou ensaios experimentais para o mesmo tipo de misturas com formulações contendo teores de ligante de 4,22%, 4,54% e 4,86%.

Observados os limites normativos, as misturas que não se enquadrarem nesse limite, apresentando teores inferiores ao valor mínimo determinado pela norma em 4,0% são consideradas reprovadas. Esses resultados comprovam que as misturas asfálticas demonstrariam, em campo, uma habilidade de compactação indesejada, ou seja, com uma diminuição excessivamente precoce dos vazios, situação que poderia ter ocorrido o potencial de deformação permanente e até mesmo de exsudação no campo.

É possível constatar que a morfologia e a textura dos granulares têm uma forte influência na habilidade de compactação das misturas asfálticas. Observando que os materiais graníticos possuem características herdadas pela rocha-mãe e que podem ser um pouco modificadas pelas técnicas de britagem, os mesmos apresentam um formato predominantemente subangular e superfície áspera ou rugosa, favorecendo o intertravamento granular e resultando em misturas asfálticas mais estáveis.

Analisando as características mineralógicas das cinzas testadas, observa-se, de forma geral, que as cinzas volantes são constituidas predominantemente por material vítreo de natureza sílico-aluminosa e em menor proporção de compostos cristalizados. Essa morfologia das partículas, conforme mencionado por Rhode et al., (2006), varia de acordo com as condições de queima. Portanto, as cinzas volantes provenientes da combustão de carvão pulverizado contêm predominantemente partículas esféricas, com pequenas quantidades de cenosferas e partículas irregulares, conforme já observado na caracterização das cinzas, conferindo a essas misturas uma maior densificação.

Quanto às cinzas de fundo, estas são constituídas por uma fase vítrea silico-aluminosa e associadas ao Carbono na fase amorfa. As características morfológicas são apresentadas como partículas transparentes arredondadas e irregulares, partículas opacas angulosas a subangulosas e, finalmente, formas esféricas. Essas características, quando comparadas à morfologia das cinzas volantes, justificam o comportamento dessas misturas, apresentando um melhor embricamento dos granulares e resultando em um maior volume de vazios.

A sensibilidade elevada comprova a importância que a interação entre os granulares exerce no comportamento das misturas asfálticas. Ao analisar a mesma adição de teor de ligante entre amostras com adição de cinzas e as misturas convencionais, nota-se uma menor formação de vazios nas primeiras, corroborando os resultados da caracterização morfológica já apresentada. Além disso, ao observar a Figura 4, fica evidente que o aumento do teor de ligante ocasiona uma maior compacidade das misturas asfálticas. Isso se justifica pelo aumento da lubrificação gerada entre os granulares devido ao acréscimo de ligante, resultando em uma maior acomodação das partículas.

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

Após a conclusão dos ensaios de PCG, foi avaliada a resistência à sensibilidade à água das misturas asfálticas com a execução do ensaio de Duriez. Os resultados obtidos nesses ensaios são apresentados na Figura 5.

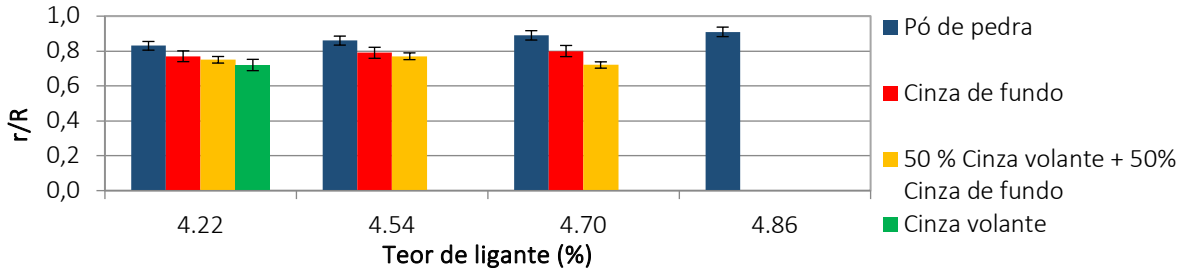

Figura 5: Resultados dos ensaios de Duriez.

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que todos os teores das misturas estudadas foram aprovados, apresentando uma média superior ao valor mínimo estabelecido pela norma. Conclui-se, portanto, que as misturas estudadas não apresentaram uma redução superior a 30% na resistência à resistência simples.

No entanto, é importante ressaltar que novamente a morfologia das frações granulares desempenhou um papel decisivo nos resultados obtidos, desta vez na relação r/R do corpo de prova condicionados na água (r) e condicionados a seco (R). Tanto as matrizes gnáissicas quanto os cinzas apresentam características quimicamente eletronegativas, com uma presença predominante de sílica, o que não contribui para uma boa resistência à ação deletéria da água em ambos os casos. Assim, a predominância da textura superficial rugosa e da forma subangular das partículas granulares gnáissicas proporciona uma melhor resistência aos esforços de cisalhamento gerados durante o processo de ruptura dos corpos de prova, em comparação com a condição textural parcialmente lisa e macrotextural arredondada das partículas cinzas estudadas. Vale ressaltar que a dureza observada para os grãos de cinza é equivalente à dos granulares gnáissicos.

Reitera-se, portanto, a necessidade do uso de agentes melhoradores de adesividade na composição dos traços das misturas estudadas em condições práticas de utilização.

O ensaio subsequente realizado foi o ensaio de deformação permanente, que consiste na avaliação da resistência das misturas asfálticas à formação de trilha de rodas. Este ensaio foi realizado nas misturas demonstradas na Figura 6, totalizando 20 placas moldadas, sendo duas para cada mistura estudada. Todas as misturas analisadas apresentaram resultados dentro das conformidades normativas nos ensaios que antecedem o nível 2 da metodologia francesa de formulação de misturas asfálticas. A Figura 6 ilustra um panorama geral das misturas asfálticas analisadas.

A mistura BBSG 0/14mm possui três classificações possíveis, determinada em função da percentagem de afundamento após 30.000 ciclos (AFNOR, 2007). De acordo com Barra et al., (2010), as classes 2 e 3 são as que mais se assemelham ao contexto brasileiro, dependendo da região.

Ao analisar as misturas dosadas com o teor de ligante de 4,22%, todas se enquadraram na classe 3, o que indica as melhores condições de resistência ao afundamento na trilha de roda para a categoria BBSG, ou seja, abaixo de 5,0%. Além disso, com base nos resultados demonstrados na

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

HOLOS
ISSN 1807 - 1600

Figura 6, pode-se observar que quanto maior o teor de ligante asfáltico utilizado, maior será a deformação permanente encontrada na mistura asfáltica.

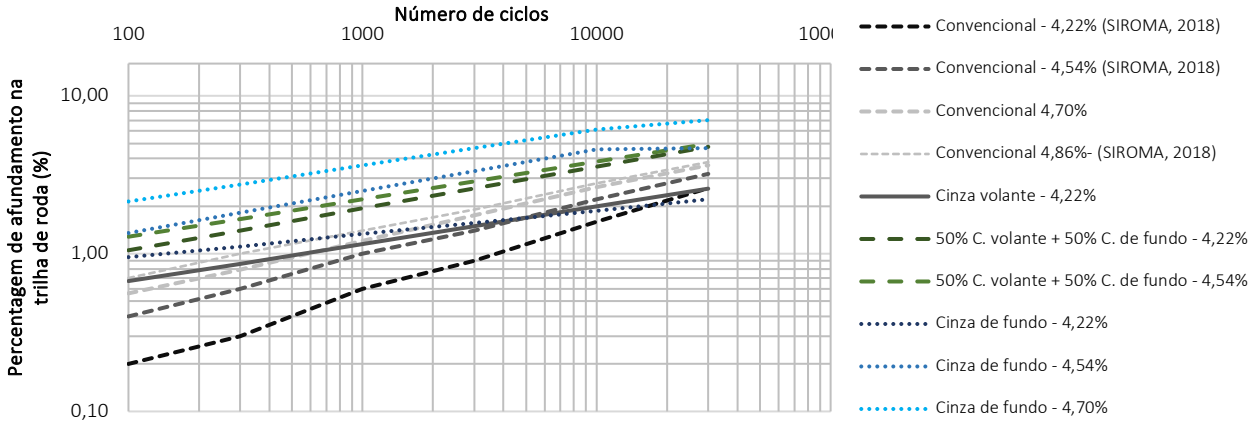

Figura 6: Resultados dos ensaios de Deformação permanente.

A partir dos gráficos apresentados, de forma geral, pode-se observar que os resultados encontrados se justificam de maneira semelhante às explicações para os resultados dos ensaios de PCG e Duriez. A morfologia e a rugosidade das partículas das cinzas utilizadas nesse estudo indicam que este material não é capaz de fornecer o mesmo grau de intertravamento entre as partículas em comparação com os granulares gnáissicos britados. Isso faz com que, na maioria das situações apresentadas, as misturas com cinzas sejam menos resistentes aos esforços de cisalhamento causados pela carga dinâmica constante aplicada em baixa frequência durante o ensaio.

No caso das misturas contendo 100% de cinza volante e 100% de cinza de fundo, é possível observar que foram obtidos valores próximos aos da mistura convencional. Isso ocorre porque o teor de ligante utilizado é baixo, o que indica uma menor lubrificação das partículas de cinza, especialmente nas mais arredondadas. Nesse caso, prevaleceu o intertravamento propiciado pelas partículas com macrotextura subangular e microtextura rugosa, levando em consideração a morfologia composta desses materiais, conforme as análises microscópicas apresentadas.

Em contrapartida, no caso da mistura contendo 50% de cinza volante + 50% de cinza de fundo, com o mesmo teor de ligante analisado (4,22%), foi obtido um percentual de deformação permanente superior às demais misturas. Isso ocorre devido à maior concentração de partículas arredondadas, uma vez que essa mistura acumula contribuições das frações de cinza volante e cinza de fundo em uma mesma amostra. Reduzindo a efetividade de intertravamento da composição, aumentando os níveis de deformação permanente.

O fato das misturas compostas com cinza apresentarem afundamentos ligeiramente menores do que a mistura convencional se deve à maior porosidade das frações de cinza em relação às frações de brita gnáissica. Essa maior porosidade permite uma maior absorção de ligante, reduzindo sua atuação lubrificante na mistura, principalmente nas partículas arredondadas de cinza. Isso contribui para uma maior estabilidade da mistura e menor deformação permanente.

Todas as misturas se enquadram na classe 3, exceto a mistura com adição de 100% cinza de fundo no teor de ligante de 4,70%. Isso significa que todas as misturas estão aptas a serem utilizadas nas condições mais severas de tráfego em situações práticas. As mesmas considerações comparativas se aplicam às dosagens com 4,70% de ligante. Vale ressaltar que o percentual obtido de 7,01% na trilha de roda para a mistura 100% cinza de fundo a classifica na classe 2, de acordo

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

com a metodologia francesa. Isso significa que o valor está na faixa situada entre 5,00% e 7,50%, inferior à classe 3, mas apta a ser utilizada em situações de tráfego em ambiente climático com elevado gradiente térmico.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados pela campanha experimental realizada, é possível afirmar que os objetivos traçados para a pesquisa foram alcançados.

Nas caracterizações dos materiais no contexto eletroquímico, foi demonstrado que a condição predominantemente eletronegativa das matrizes gnáissicas e das cinzas silicosas não contribui para a formação de uma forte atração elétrica com o ligante hidrocarboneto. Isso ocorre devido à formação de uma intensa fase amorfa, a qual impede não apenas uma boa adesividade do conjunto granular-betume, culminando na má resistência à ação deletéria da água, mas também ratifica o caráter inerte destes insumos nas misturas asfálticas, sem qualquer contribuição significativa nos parâmetros de rigidificação dos mástiques formados.

Em outra perspectiva, é importante destacar que as características físicas são determinantes na contribuição das matrizes supracitadas no comportamento mecânico das misturas asfálticas. Foi observado que as curvas granulométricas compostas integralmente por partículas gnáissicas britadas apresentaram resultados superiores em geral. Isso se deve ao fato de que essas partículas possuem uma textura superficial rugosa e uma macrotextura subangular, em caráter regular. Por outro lado, as cinzas testadas encontraram uma variabilidade em suas composições, com presença parcial de superfícies lisas, elementos cenosféricos e macrotextura arredondada. Isso prejudica a formação de ângulos de atrito ao intertravamento global das partículas, o que dificulta a resistência efetiva aos esforços de cisalhamento causados pelas cargas aplicadas. É importante ressaltar que, mesmo que a dureza estimada de ambas as ocorrências tenha sido equivalente, as características morfológicas das partículas têm um impacto significativo no desempenho das misturas asfálticas.

Assim, é possível inferir que o bom comportamento mecânico de um material, notadamente as misturas asfálticas, não está diretamente relacionado apenas à resistência física propriamente dita, mas também às variáveis de forma de suas matrizes granulares.

Outrossim, cabe destacar que, para a obtenção deste êxito com as matrizes de cinza utilizadas, cuidados imprescindíveis prévios à formulação das misturas asfálticas devem ser tomados em cada caso, tais como: análise minuciosa da distribuição granulométrica, avaliação acurada da morfologia das partículas e, sobretudo, utilização de um percentual moderado do material na composição granulométrica das misturas, ou seja, abaixo de 10,0%, no caso 6,0%, com o intuito de diminuir a potencialização da ocorrência do fenômeno da deformação permanente. Do contrário, os riscos assumidos de insucesso são muito grandes, devido às características morfológicas de suas ocorrências.

Diante dos resultados obtidos e das análises efetuadas, é possível concluir que as matrizes estudadas de cinzas oriundas da queima do carvão mineral são viáveis tecnicamente para utilização em misturas asfálticas, abrindo inclusive a possibilidade de um mercado para a utilização em larga escala da cinza de fundo, atualmente sem destinação alguma aos serviços de beneficiamento de insumos, notadamente na região sul do Estado de Santa Catarina. Onde a mesma pode se

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

beneficiar mais diretamente pela proximidade com a fonte produtora destes insumos, compreendendo acesso fácil e com menores distâncias de transporte, desde que sejam tomados os devidos cuidados técnicos já mencionados.

5 REFERÊNCIAS

Akinwumi, I.; Onyeiwu, M.; Epelle, P.; Ajayi, V. (2023). Soil Improvement Using Blends of Coal Ash and Plantain Peel Ash as Road Pavement Layer Materials. Resources, 12, 41.

Aquino, T. F.; Estevam S. T.; Corrêa G. R.; Marques C. R. M.; Melo A. R.; Marcelo R. R.; Pires M.; Hammerschmitt M.; Riella H. G. (2017). Síntese de zeólitas do tipo X a partir de cinzas volantes e de fundo de carvão mineral. V Congresso Brasileiro de Carvão Mineral.

Bamigboye, G. O.; Bassey, D. E.; Olukanni, D. O.; Ngene, B. U.; Adegoke, D.; Odetoyan, A. O.; Kareem, M. A.; Enabulele, D. O.; Nworgu, A. T. (2021). Waste materials in highway applications: An overview on generation and utilization implications on sustainability. Journal of Cleaner Production 283, 124581.

Barra, B. S. (2009). Avaliação da ação da água no módulo complexo e na fadiga de misturas asfálticas densas. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 327 p.

Barra, B. S. Momm, L. Brosseaud, Y. Hornych, P. (2010). Diretrizes para a formulação e avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas. Revista Pavimentação, Ano V, Associação Brasileira de Pavimentação (ABPV), v. 17, p. 38-58.

Barreto, A. C., Amorim, E. F. (2020). Avaliação do desempenho técnico de diferentes misturas de solo com Resíduos De Construção (RCD) para uso em obras viárias. *Holos*. 36 (7), 1-20.

Brunauer, S.; Emmett, P.H.; Taylor, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. Journal of the American Chemical Society. 60, 309-319.

Carnin, R. L. P. Matosso Filho, N. P. Momm, L. (2005). Reaproveitamento do Resíduo Areia Verde de Fundição em Misturas Asfálticas. 12º Congresso de Fundição. 316-325. São Paulo, Brasil.

Clara, E. (2020). Avaliação de misturas asfálticas densas com a incorporação de cinza de carvão mineral. Dissertação de Mestrado. Joinville: Universidade Federal de Santa Catarina.

Cuan, Z.; Chen, Y.; Kumar, S. (2023). Design, multi-aspect analyses, and multi-objective optimization of a novel trigeneration system based on geothermal and municipal solid waste energies. Process Safety and Environmental Protection 177, 581–597.

Eing, M. A. (2018). Análise da incorporação de cinza volante e pesada em dosagens de misturas asfálticas densas. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville/SC.

Esther, L. A.; Pedro, L. G.; Irune, I. V.; Flintsch Gerardo, F. (2020). Comprehensive analysis of the environmental impact of electric arc furnace steel slag on asphalt mixtures. Journal of Cleaner Production 275. 123121.

Gonçalves, J. P. (2000). Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 120 p. Porto Alegre, Brazil.

IEA. (2022). World Energy Outlook. International Energy Agency. Flagship report.

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

Kumar, P.; Shukla, S. (2022). Flexible pavement construction using different waste materials: a review. Mater. Today.: Proc. 65, 1697–1702.

Le, N. H., Razakamanantsoa A, Nguyen M-L, Phan VT, Dao P-L, Nguyen DH. (2018). Evaluation of physicochemical and hydromechanical properties of MSWI bottom ash for road construction. Journal of Waste Management. 80, 168-174.

Li J, Xiao F, Zhang L, Amirkhanian SN. (2019). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of recycled solid waste materials in highway pavement: a review. Journal of Cleaner Production. 233, 1182-1206.

Lima, C. E. de, Amorim, E. F., Oliveira, H. da S., Moura, L. F. de (2020).Concreto asfáltico a quente dosado com resíduos de construção e demolição (RCD) aplicado em pavimento flexível. *Holos*, 37(1).1-18.

Majer, S., Budzinski, B., (2018). Utilization of recycled materials in road construction. Sofia. International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM 18 (4.2), 247e253.

Mallmann, J. E. C. (1996). Estabilização pozolânica de cinzas volantes e pesada com cal dolomítica hidratada e areia, curadas pelos processos de autoclavagem e câmara à temperatura constante.Dissertação, UFRGS, Porto Alegre, 164p.

Meurer, P. (2015). Caracterização de materiais rochosos do norte de Santa Catarina para fins de aplicação em obras de pavimentação. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de SantaCatarina. Joinville/SC. 92p.

Mohanty, M.; Biswal, D. R.; Mohapatra, S. S. (2023). A systematic review exploring the utilization of coal mining and processing wastes as secondary aggregate in sub-base and base layers of pavement – Review. Construction and Building Materials, 368. 130408.

Oliveira, M. L. S. Ward, C. R. French, D. Hower, J. C. Querol, X. Silva, L. F. O. (2012). Mineralogy and leaching characteristics of beneficiated coal products from Santa Catarina - Brazil. International Journal of Coal Geology, 94 (1), 314-325.

Omrani MA, Modarres A. (2018). Emulsified cold recycled mixtures using cement kiln dust and coal waste ash-mechanical-environmental impacts. Journal of Cleaner Production. 199,101-111.

Pattanaik, M. L.; Choudhary, R.; Kumar, B.; Kumar, A. (2021). Mechanical properties of open graded friction course mixtures with different contents of electric arc furnace steel slag as an alternative aggregate from steel industries. Road Mater. Pavem. Design 22 (2), 268–292.

Rhode, G. M.; Zwonok, O.; Chies, F.; Silva, (2006). N.I.W. Cinzas de carvão fóssil no Brasil – Aspectos técnicos e ambientais. vol.1 Porto Alegre: CIENTEC.

Sarbak, Z; Stanczyk, A. Kramer-Wachowiack, M. (2004). Characterization of surface properties of various fly ashes.Powder tecnology., v.145, p.82-87.

Siroma, R. S. (2018). Avaliação da deformação permanente em misturas asfálticas densas formuladas com areia descartada de fundição (ADF). Dissertação. 196 p.

Wang, D.; Tawka, M.; Indraratnab, B.; Heitora, A.; Rujikiatkamjorna, C. (2019). A mixture of coal wash and fly ash as a pavement substructure material. Transportation Geotechnics, 21, 100265.

Woszuk A, Bandura L, Franus W. (2019). Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt. Journal of Cleaner Production. 235, 493- 502.

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

Yue, Y.; Abdelsalam, M.; Khater, A.; Ghazy, M. (2022). A comparative life cycle assessment of asphalt mixtures modified with a novel composite of diatomite powder and lignin fiber. Construction and Building Materials 323. 126608.

Ziari, H.; Zalnezhad, M.; Ziari, M. A.; Amiri, E. N. (2022). Substitution of the natural aggregate filler by coal waste powder (CWP) in microsurfacing surface treatment: Mix design and performance evaluation. Construction and Building Materials 354, 129132.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Clara, E., Salgado Barra, B. ., Juliana Jargemboski, N. ., B. Hughes, G. ., Mikowski, A. ., & Staub de Melo, J. V. (2023). INFLUENCE OF THE USE OF WASTE GENERATED BY THERMOELECTRIC POWER PLANT ON SUSTAINABLE ASPHALT MIXES. HOLOS, 5(39). https://doi.org/10.15628/holos.2023.16321

ABOUT THE AUTHORS

E. CLARA
Universidade Federal de Santa Catarina
Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas pela Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC. Membro do Grupo de Desenvolvimento e Pesquisa em Pavimentação (GDPPav)/Grupo de Pesquisa CNPq.
E-mail: estefani.clara@hotmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7103-293X

B. S. BARRA
Universidade Federal de Santa Catarina
Doutor e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC; Professor e Pesquisador da UFSC. Membro Titular do Grupo de Desenvolvimento e Pesquisa em Pavimentação (GDPPav)/Grupo de Pesquisa CNPq.
E-mail: breno.barra@ufsc.br
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2212-8163

N. J. JARGEMBOSKI
Universidade Federal de Santa Catarina
Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas pela Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC. Membro do Grupo de Desenvolvimento e Pesquisa em Pavimentação (GDPPav)/Grupo de Pesquisa CNPq.
E-mail: nayara.jargemboski@gmail.com
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-5011-9272

G. B. HUGHES
Universidade da California em Santa Barbara.
Ph.D. Ciências da Terra e Ambientais da Universidade da Pensilvânia. Mestre em Matemática Aplicada pela Universidade da Califórnia em Santa Bárbara. Pesquisador Assistente do Departamento de Física, UC Santa Barbara.
E-mail: gbhughes@physics.ucsb.edu
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4739-8493

A. MIKOWSKI
Universidade Federal de Santa Catarina
Doutor e Mestre em Física pela Universidade Federal do Paraná/UFPR; Professor e Pesquisador da UFSC. Membro do Grupo de Desenvolvimento e Pesquisa em Pavimentação (GDPPav)/Grupo de Pesquisa CNPq.
E-mail: alexandre.mikowski@ufsc.br

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5348-8420

J. V. S. MELO
Universidade Federal de Santa Catarina
Doutor e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC. Professor e Pesquisador da UFSC.
E-mail: joao.victor@ufsc.br
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1911-9146

Editor: Francinaide de Lima Silva Nascimento
***Ad Hoc* Reviewer:** Marina Batalini De Macedo e Patrícia Martins Diniz

Submitted October 24, 2023
Accepted December 27, 2023
Published December 18, 2023

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.