cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Uso de resíduo de carvão em camadas estruturais de pavimentos rodoviários a partir da circularidade de materiais

Tiago Rosso Urbano; Juliana Acordi; Fabiano Raupp Pereira

Grupo de Pesquisa em Valorização de Resíduos como Estratégia para o Desenvolvimento da Economia Circular (GP V@lor_EC), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, Brasil

Introdução

Em 2025, o Brasil produziu aproximadamente 7,2 milhões de toneladas de carvão mineral, enquanto a região carbonífera de Santa Catarina destinou 3,4 milhões de toneladas de rejeitos a aterros controlados (ABCM, 2026). Esses rejeitos contêm frações residuais com características distintas, frequentemente dispostas conjuntamente, sem considerar seu potencial de valorização. Nesse contexto, a utilização dessas frações como componentes de misturas para camadas estruturais de pavimentos rodoviários representa uma alternativa para reduzir a disposição de resíduos e o consumo de matérias-primas naturais. Este estudo investiga o desempenho técnico e ambiental das frações residuais fina e grossa provenientes da Mina Lauro Müller, estabilizadas com cimento Portland, considerando os princípios da circularidade de materiais.

Objetivos

Avaliar o desempenho de frações residuais fina e grossa do beneficiamento de carvão (Mina Lauro Muller, SC), estabilizadas com cimento Portland, como componente agregado de camadas estruturais de pavimentos rodoviários, considerando o comportamento mecânico (ISC, expansão e compressão simples) e ambiental (lixiviação e solubilização).

Metodologia

A fração grossa foi obtida no descarte do processo de meio denso, enquanto a fração fina foi proveniente das espirais concentradoras. Após a caracterização dos materiais, o ensaio de dosagem físico-química indicou 14% de cimento Portland CP IV-32 RS como teor de referência. As frações foram avaliadas nas condições in natura e estabilizada, por meio de ensaios de compactação, ISC, expansão, resistência à compressão simples, lixiviação e solubilização.



Figura 1. Fluxograma das etapas experimentais da pesquisa.

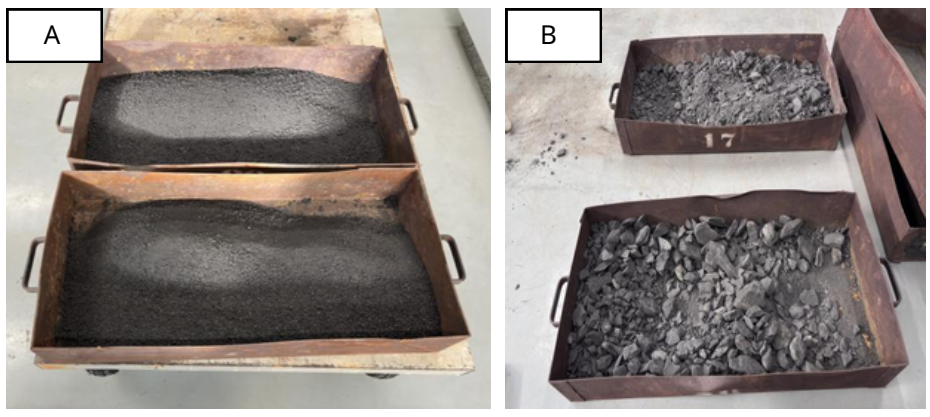


Figura 2. Frações residuais de carvão utilizadas: (A) Fina; (B) Grossa.
Local de coleta: Mina Lauro Muller, Santa Catarina.

Resultados e Discussão

As duas frações têm matriz silicoaluminosa (quartzo, argilominerais e pirita), mas diferem pelo processo de origem: a fina é mais carbonosa e menos densa; a grossa, mais mineral (Tabela 1). O enxofre é predominantemente pirítico (≈ 71% e ≈ 85% do total nas frações fina e grossa).

Parâmetros	Fração fina	Fração grossa
Carbono - CHN (%)	37,25	15,11
Cinzas (%)	57,52	82,4
Perda ao fogo (%)	42,1	19,41
Massa específica real (g/cm³)	2,09	2,63

Tabela 1. Caracterização das frações residuais de carvão.

Desempenho mecânico: In natura, o ISC foi de 14,92% (grossa) e 9,23% (fina), atendendo apenas aos critérios considerados para reforço do subleito. Com 14% de cimento, o ISC foi ≥ 364,39% (grossa) e ≥ 253,40% (fina), com limitação pela capacidade máxima da prensa. Aos 7 dias, a resistência média à compressão simples foi de 3,66 MPa (fina), acima do requisito de 2,1 MPa para base de solo-cimento, e de 1,92 MPa (grossa), abaixo desse limite. Nenhuma fração atendeu integralmente às faixas granulométricas aplicáveis.

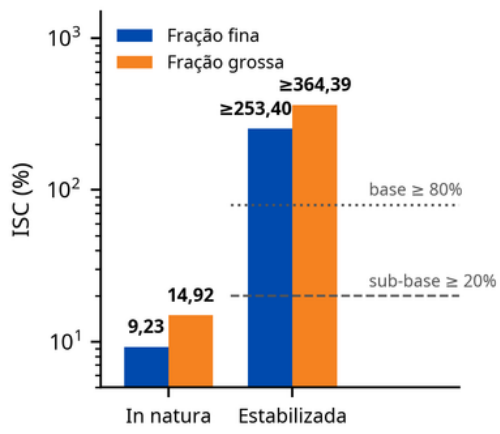


Figura 3. ISC in natura e estabilizado (14% de cimento).

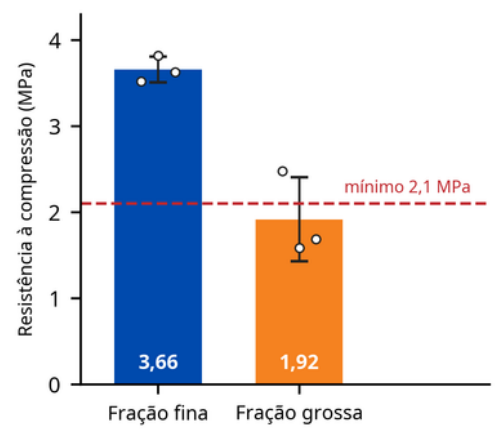


Figura 4. Resistência à compressão simples aos 7 dias (14% de cimento).

Os extratos lixiviados atenderam aos limites normativos e não houve reatividade. A estabilização reduziu o sulfato solubilizado em mais de 98%, mas permaneceram excedências de Al, Fe e Mn (fina) e Al, Fe e Na (grossa). As amostras foram classificadas como Classe II A — não perigosos e não inertes (ABNT NBR 10004:2004).

Parâmetros (mg/L)	Limites	Fina in natura	Fina estab.	Grossa in natura	Grossa estab.
Sulfato	250	782	<10	516,6	<10
Alumínio	0,2	0,551	3,06	0,286	1,26
Ferro	0,3	0,198	0,77	4,05	0,34
Manganês	0,1	2,331	5,86	0,379	<0,01
Sódio	200	135,3	48,1	73,4	255,2

Tabela 2. Extratos solubilizados das frações residuais de carvão. Valores em vermelho indicacam concentrações superiores aos limites da ABNT NBR 10004:2004 (Anexo G).

Conclusão

As frações residuais apresentaram potencial como componentes de misturas estabilizadas para camadas estruturais de pavimentos rodoviários. Com 14% de cimento Portland, a fração fina apresentou melhor desempenho mecânico, enquanto a grossa demonstrou elevado ISC, porém resistência à compressão insuficiente. As limitações granulométricas e as excedências nos extratos solubilizados não permitem recomendar a aplicação direta nas condições estudadas. A viabilidade técnica e ambiental depende de correção granulométrica, otimização do teor de cimento e avaliações complementares de durabilidade e comportamento ambiental a longo prazo. A viabilidade econômica não foi avaliada.

Referências e Agradecimentos

ABCM. Carvão mineral: dados estatísticos: ano 2025, 2026.
ABNT. NBR 10004:2004: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
FARACO, M. N. S. Valorização de frações residuais geradas no beneficiamento de carvão mineral da região sul de Santa Catarina. 2022. 130 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.
MONSANI, J. A. Desenvolvimento de argamassas cimentícias a partir da valorização de minerais contidos em rejeitos de carvão catarinense. 2022. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.
RAUPP-PEREIRA, F. Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral. Tese (Doutorado), Universidade de Aveiro, 2006.
Agradecimentos: CAPES (PROSUC), UNESC, IPARQUE, IDT, IPAT/IALI, LABSCIDADES e GP V@LOR-EC.