

## **Comportamento do pavimento asfáltico com bases de brita graduada e escória de aciaria**

Felipe Cunha Dos Santos; 0009-0002-0758-1883

Inimá César Valle Machado; 0009-0001-1764-6444

Francisco Roberto Silva de Abreu; 0000-0001-5147-9224

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.  
*felipe.santos6@icloud.com*

**Resumo:** Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) analisa comparativamente o desempenho da brita graduada simples (BGS) e da escória de aciaria como materiais de base em pavimentos asfálticos. Os resultados laboratoriais demonstraram o elevado potencial mecânico da escória, que apresentou Índice de Suporte Califórnia (CBR) de até 126%, superando o desempenho da BGS. No entanto, sua aplicação prática encontra barreiras significativas. A amostra analisada, utilizada sem o adequado controle de idade (processo de envelhecimento), resultou em expansão volumétrica de 0,93%, valor que ultrapassa o limite normativo do DNIT 141/2022-ES (0,5%) e pode ocasionar patologias no revestimento. Conclui-se que, apesar dos desafios operacionais, a escória de aciaria apresenta excelente potencial para uso em bases de pavimentação, desde que submetida a rigoroso controle tecnológico, incluindo tempo de estabilização de seus óxidos livres e validação por ensaios de expansibilidade. Assim, este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre materiais alternativos e para a compreensão das condições necessárias ao uso seguro e sustentável da escória em pavimentação. O estudo baseou-se em ensaios laboratoriais complementados por análise bibliográfica e normativa, assegurando fundamentação técnica aos resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Pavimentação; Brita graduada; Escória de aciaria; Expansão; Sustentabilidade.

## INTRODUÇÃO

A escassez de agregados naturais e a grande produção de resíduos industriais incentivam soluções sustentáveis na engenharia civil. A escória de aciaria, subproduto siderúrgico, é uma alternativa promissora. Segundo Costa e Santos (2020), suas propriedades físicas e mecânicas, como elevada resistência e estabilidade química, a qualificam como potencial substituto da BGS em camadas de base. No entanto, desafios como a variabilidade química e a presença de óxidos livres de cálcio e magnésio, que podem causar expansão volumétrica, exigem atenção. Rohde (2002) destaca que o processo de envelhecimento é fundamental para estabilizar esses óxidos, reduzindo riscos de patologias em pavimentos, embora possa aumentar o tempo e o custo das obras.

A relevância do tema é evidenciada pela escala de produção da escória. Um estudo de 2006 indicava que, para cada tonelada de aço bruto, são gerados cerca de 120 kg de escória. Com 33 milhões de toneladas de aço produzidas em 2004, estima-se 4 milhões de toneladas de escória (ROHDE, 2002). O estudo visa comparar o desempenho técnico de pavimentos com BGS e escória, utilizando ensaios laboratoriais e simulações para avaliar comportamento mecânico, resistência e durabilidade sob diferentes condições. Espera-se que a escória tenha desempenho equivalente ou superior à BGS, validando-a como alternativa sustentável, reduzindo custos com matéria-prima e impactos ambientais. Segundo Costa e Santos (2020), suas propriedades físicas e mecânicas, como elevada resistência e estabilidade química, a qualificam como potencial substituto da BGS em camadas de base.

## MÉTODOS

- Os ensaios laboratoriais foram conduzidos em conformidade com normas da ABNT e do DNIT, garantindo padronização, rastreabilidade e confiabilidade dos resultados. Amostras de Brita Graduada Simples (BGS) e de Escória de Aciaria foram coletadas, preparadas e submetidas a ensaios de caracterização e desempenho mecânico. A seguir, descrevem-se os principais procedimentos realizados:

- **Análise Granulométrica (ABNT NBR 7181:2016)** O procedimento consiste em secar e destorroar a amostra, seguida da passagem por um conjunto padronizado de peneiras de diferentes aberturas. Calcula-se a porcentagem retida e passante em cada peneira e, a partir desses dados, constrói-se a curva granulométrica, que permite verificar a adequação do material quanto à compactação e estabilidade.
- **Ensaio de Compactação – Proctor Modificado (DNIT-ME 47/64 e 48/64)** O ensaio consiste na moldagem de corpos de prova em camadas sucessivas, que são compactadas por golpes aplicados com soquete padronizado. Após a pesagem e cálculo da massa específica seca, os resultados são organizados em forma de curva, possibilitando identificar o ponto em que o material atinge seu maior adensamento.
- **Índice de Suporte Califórnia – CBR (DNIT-ME 49/94)** As amostras, previamente compactadas, são imersas em água por quatro dias, simulando uma situação crítica de saturação. Após a imersão, um pistão penetra no corpo de prova a velocidade constante, registrando a resistência oferecida pelo material.
- **Expansibilidade (DNIT 160/2012-ME e DNIT 141/2022-ES)** Após a imersão em água por quatro dias, mede-se a variação volumétrica dos corpos de prova por meio de extensômetros ou comparadores mecânicos. O DNIT 141/2022-ES estabelece que a expansão máxima admissível para bases estabilizadas é de 0,5%, valor que, se ultrapassado, pode levar à ocorrência de fissuras, ressaltos e falhas no revestimento asfáltico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1 – Resultados dos ensaios laboratoriais da BGS e escória de aciaria.

Os ensaios laboratoriais evidenciaram diferenças marcantes no comportamento técnico da Brita Graduada Simples (BGS) e da Escória de Aciaria, conforme resumido a seguir.

Brita Graduada Simples (BGS)

Material	Densidade Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade Ótima (%)	CBR (%)	Expansão (%)
BGS	2,281	4,8	> 100	0,07
Escória	2,452	8,0	126	0,93

Fonte: Elaborado pelos autores, com base no relatório de ensaio

O material apresentou um desempenho plenamente adequado às normas vigentes, confirmando sua aptidão consolidada para uso em bases de pavimentação rodoviária. Os principais resultados foram:

- Densidade Seca Máxima: 2,281 g/cm<sup>3</sup>
- Umidade Ótima: 4,8%
- Índice de Suporte Califórnia (CBR): > 100%
- Expansão: 0,07%

A BGS demonstrou excelente estabilidade volumétrica, com valor de expansão muito abaixo do limite normativo (0,5%), além de alta capacidade de suporte. Esses resultados estão em consonância com seu histórico de uso consolidado em obras rodoviárias no Brasil.

#### Escória de Aciaria

A amostra analisada revelou um potencial mecânico elevado, especialmente quanto à resistência e suporte de cargas, mas apresentou limitações críticas no quesito estabilidade volumétrica. Os resultados obtidos foram:

- Densidade Seca Máxima: 2,452 g/cm<sup>3</sup>
- Umidade Ótima: 8,0%
- Índice de Suporte Califórnia (CBR): até 126%
- Expansão: 0,93%

Embora a escória tenha demonstrado CBR superior ao da BGS, evidenciando excelente desempenho mecânico, sua expansibilidade de 0,93% ultrapassa o limite máximo de 0,5% definido pela DNIT 141/2022-ES. Esse resultado indica risco significativo de instabilidade



volumétrica, fissuração e levantamento do pavimento, sobretudo quando o material é utilizado sem controle de envelhecimento.

#### Análise Comparativa

A comparação direta entre os dois materiais mostra que:

- A BGS atende integralmente às normas técnicas, combinando boa densidade, baixa umidade ótima e estabilidade volumétrica.
- A escória de aciaria apresenta desempenho mecânico superior, mas falha no quesito expansão, o que compromete sua aplicação prática sem tratamento ou envelhecimento prévio.
- A elevada umidade ótima da escória (8,0%) também indica maior sensibilidade à água, demandando atenção adicional em campo.

Dessa forma, a escória pode ser considerada um material de excelente qualidade sob o ponto de vista de resistência, mas seu uso requer rigoroso controle tecnológico e envelhecimento adequado para reduzir riscos de patologias.

A análise comparativa dos ensaios laboratoriais evidência que a brita graduada simples (BGS) se mostra um material confiável, de fácil obtenção e aplicação consolidada em obras rodoviárias. Seu comportamento estável foi confirmado nos resultados, que apresentaram baixa expansão (0,07%) e CBR superior a 100%.

A escória de aciaria, por sua vez, demonstrou um potencial mecânico superior, com densidade seca máxima de 2,452 g/cm<sup>3</sup> e CBR de até 126%. No entanto, a expansão volumétrica de 0,93% registrada em laboratório, valor que ultrapassa o limite de 0,5% estabelecido pela DNIT 141/2022-ES revela o principal desafio técnico e prático de sua utilização.

Esse resultado está diretamente associado ao fato de que a amostra foi coletada sem controle de idade, ou seja, sem passar pelo período de envelhecimento necessário para estabilização dos óxidos livres de cálcio (CaO) e magnésio (MgO). A hidratação desses



óxidos gera hidróxidos volumosos, produzindo pressões internas que podem se manifestar tardiamente em obra.

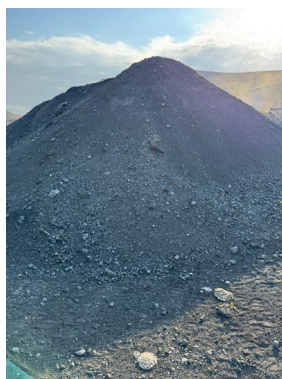
O impacto dessas propriedades não se limita à camada de base: ele se reflete diretamente no comportamento do revestimento asfáltico. Enquanto uma base de BGS, com estabilidade volumétrica comprovada, fornece suporte uniforme e resistente, uma base de escória não estabilizada se torna uma fonte de tensões internas. A expansão não controlada gera forças ascendentes que empurram o revestimento, ocasionando fissuras, desagregação do ligante e até o fenômeno popularmente chamado de “estouro do asfalto”.

Figura 1 – Patologias no revestimento asfáltico causadas pela expansão da escória.



Fonte: Autores

Figura 2 – Amostra de escória de aciaria estocada em pátio industrial.



Fonte: Autores

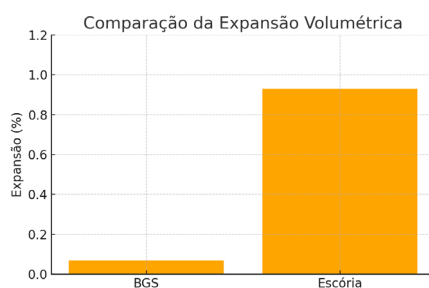


Figura 3 – Amostra de brita graduada simples (BGS).



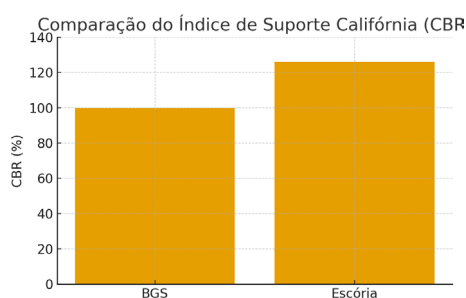
Fonte: Autores

Figura 4 – Comparação da Expansão Volumétrica entre BGS e escória.



Fonte: Autores

Figura 5 – Comparação do Índice de Suporte Califórnia (CBR) entre BGS e escória.



Fonte: Autores

## CONCLUSÕES

A pesquisa analisou o desempenho da brita graduada simples (BGS) e da escória de aciaria como materiais para camadas de base em pavimentos asfálticos, por meio de ensaios laboratoriais e comparação com normas do DNIT. A BGS confirmou sua confiabilidade, com baixa expansão (0,07%), CBR superior a 100% e estabilidade, sendo a escolha padrão para

obras rodoviárias. A escória de aciaria apresentou maior densidade e CBR de até 126%, mas sua expansibilidade (0,93%) excedeu o limite normativo (0,5% – DNIT 141/2022-ES) sem envelhecimento adequado, devido à hidratação de óxidos livres (CaO e MgO), podendo causar fissuras e outras patologias.

A utilização da escória exige controle rigoroso, incluindo envelhecimento, monitoramento laboratorial e ensaios de expansibilidade, além de enfrentar desafios logísticos e econômicos, como dependência de siderúrgicas e custos de estocagem. Assim, a BGS é mais viável para obras convencionais, enquanto a escória é mais adequada para projetos de grande porte com infraestrutura robusta. Apesar disso, a escória tem potencial sustentável, e o estudo destaca a necessidade de mais pesquisas e padronização para sua adoção segura, equilibrando desempenho, durabilidade e sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 6457:2016 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ABNT. NBR 7181:2016 – Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BRASIL. DNIT 114/2009-ES: Sub-base estabilizada com escória de aciaria. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2009.
- BRASIL. DNIT 115/2009-ES: Base estabilizada com escória de aciaria. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2009.
- BRASIL. DNIT 141/2022-ES: Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2022.
- BRASIL. DNIT 160/2012-ME: Solos – Determinação da expansibilidade. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2012.
- COSTA, S. N.; SANTOS, R. O. G. Utilização da escória de aciaria em camadas de pavimentação rodoviária. *Engineering Sciences Journal*, v. 8, n. 2, p. 45-57, 2020.
- PINTO, S. M. O.; PREUSSLER, E. Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro: Copiarte, 2002.
- ROHDE, L. Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos – Estudo laboratorial. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- WESSELING, G. Comportamento mecânico de misturas asfálticas com resíduos industriais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005