

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE AGREGADOS RECICLADOS DE RCD EM PAVIMENTAÇÃO - ANÁLISE INTEGRADA NO TRECHO EXPERIMENTAL DA ILHA DO FUNDÃO

PERFORMANCE ASSESSMENT AND TECHNO-ECONOMIC FEASIBILITY OF RECYCLED CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE (CDW) AGGREGATES IN PAVEMENT — INTEGRATED ANALYSIS IN THE ILHA DO FUNDÃO EXPERIMENTAL STRETCH

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN PAVIMENTOS — ANÁLISIS INTEGRADO EN EL TRAMO EXPERIMENTAL DE ILHA DO FUNDÃO

Flávio Guerra Ferreira¹, Patrícia dos Santos Matta², Laura Maria Goretti da Motta³, Marcos Antonio Fritzen⁴

DOI: 10.54899/dcs.v22i85.4055

Recibido: 14/11/2025 | **Aceptado:** 10/12/2025 | **Publicación en línea:** 17/12/2025.

RESUMO

A utilização de agregados reciclados provenientes de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) em camadas de base e sub-base de pavimentos tem se destacado como uma estratégia relevante para a promoção da sustentabilidade ambiental e para a redução da demanda por recursos naturais. Este estudo apresenta uma avaliação integrada do desempenho estrutural, funcional e da viabilidade técnico-econômica de um trecho experimental (Trecho "S") localizado no Parque Tecnológico da UFRJ, executado com agregados reciclados de RCD. A análise estrutural, conduzida por meio de retroanálises FWD/MeDiNa, evidenciou valores de Módulo de Resiliência compatíveis com os requisitos técnicos para aplicações em pavimentação, confirmando a viabilidade estrutural do material. Entretanto, foi identificado um fator crítico de desempenho: a formação de trincas do tipo "pé de galinha", associadas à corrosão de elementos metálicos remanescentes presentes no RCD. Esse fenômeno reforça a importância de um controle de qualidade rigoroso durante o processo de beneficiamento, em conformidade com a ABNT NBR 15116:2021, a fim de assegurar a durabilidade, o desempenho mecânico e a segurança do pavimento ao longo de sua vida útil. Os resultados obtidos contribuem para o avanço do conhecimento aplicado ao uso de RCD em infraestrutura viária, destacando o potencial do

¹ Graduado em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: flavio.ferreira@coc.ufrj.br

² Doutora em Ciências - Engenharia Civil Estruturas Offshore, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: patricia.matta@uerj.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0768-9213>

³ Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: laura@coc.ufrj.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5517-9421>

⁴ Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: marcos.antonio@coc.ufrj.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3342-7783>

material, bem como os cuidados necessários para sua adoção plena e segura.

Palavras-chave: Resíduos da Construção e Demolição (RCD). Agregados Reciclados. Retroanálise. Viabilidade Técnico-Econômica. Durabilidade.

ABSTRACT

The use of recycled aggregates derived from Construction and Demolition Waste (CDW) in pavement base and subbase layers has emerged as a relevant strategy to promote environmental sustainability and reduce the consumption of natural resources. This study presents an integrated assessment of the structural and functional performance, as well as the technical-economic feasibility, of an experimental test section ("Section S") located at the UFRJ Technology Park, constructed using CDW recycled aggregates. Structural evaluation conducted through FWD/MeDiNa back-analysis indicated resilient modulus values consistent with technical requirements for pavement applications, confirming the structural viability of the material. However, a critical performance issue was identified: the formation of alligator cracking, attributed to the corrosion of residual metallic fragments present in the recycled aggregate. This finding underscores the need for rigorous quality control during CDW processing, in accordance with ABNT NBR 15116:2021, to ensure long-term durability and pavement safety. The results contribute to advancing knowledge regarding the application of recycled CDW aggregates in road infrastructure, highlighting both their potential and the essential precautions required for their safe and effective implementation.

Keywords: Construction and Demolition Waste (CDW). Recycled Aggregates. Back-analysis. Technical-Economic Feasibility. Durability.

RESUMEN

El uso de agregados reciclados provenientes de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en capas de base y sub-base de pavimentos se ha destacado como una estrategia relevante para la promoción de la sostenibilidad ambiental y para la reducción de la demanda de recursos naturales. Este estudio presenta una evaluación integrada del desempeño estructural, funcional y de la viabilidad técnico-económica de un tramo experimental (Tramo "S") ubicado en el Parque Tecnológico de la UFRJ, ejecutado con agregados reciclados de RCD. El análisis estructural, realizado mediante retroanálisis FWD/MeDiNa, evidenció valores de Módulo de Resiliencia compatibles con los requisitos técnicos para aplicaciones en pavimentación, confirmando la viabilidad estructural del material. Sin embargo, se identificó un factor crítico de desempeño: la formación de pequeñas grietas tipo "cuarteo en malla fina", asociadas a la corrosión de elementos metálicos remanentes presentes en los RCD. Este fenómeno refuerza la importancia de un control de calidad riguroso durante el proceso de beneficiamiento, en conformidad con la norma ABNT NBR 15116:2021, con el fin de asegurar la durabilidad, el desempeño mecánico y la seguridad del pavimento a lo largo de su vida útil. Los resultados obtenidos contribuyen al avance del conocimiento aplicado al uso de RCD en infraestructura vial, destacando el potencial del material, así como los cuidados necesarios para su adopción plena y segura.

Palabras clave: Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Agregados Reciclados. Retroanálisis. Viabilidad Técnico-Económica. Durabilidad.



INTRODUÇÃO E CONTEXTO

Contextualização Global e Nacional

A busca por modelos de desenvolvimento sustentáveis deixou de ser apenas uma diretriz desejável e tornou-se um imperativo global diante dos desafios ambientais, sociais e econômicos contemporâneos. A Terra já passou por várias extinções de diferentes espécies, mas o ser humano é o primeiro habitante do planeta que, paradoxalmente, trabalha contra a sua própria existência como espécie ao poluir corpos d'água, solos e ar. No cenário internacional, políticas públicas e metas como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU têm impulsionado transformações em setores estratégicos.

A construção civil, por sua expressiva participação no PIB e elevada demanda por recursos naturais, é reconhecida como uma das atividades de maior impacto ambiental. Dados indicam que o faturamento do setor de agregados minerais no Brasil superou R\$ 15 bilhões em 2021, com a extração de pedra e areia atingindo cifras expressivas mesmo em períodos de crise. No contexto da infraestrutura viária, a pavimentação destaca-se pelo uso intensivo desses materiais. A concepção de **pavimentos sustentáveis** surge como alternativa para reduzir o impacto ambiental, equilibrando economia, sociedade e meio ambiente.

Marco Regulatório e o Resíduo da Construção (RCD)

O marco constitucional brasileiro de 1988, em seu artigo 225, estabeleceu o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo. Esse comando fundamenta as resoluções do CONAMA, especialmente a nº 307/2002 (e suas alterações pelas Resoluções 431/2011, 448/2012 e 469/2015), que definiram diretrizes para a gestão do RCD, categorizando-o e incentivando a reciclagem.

Complementarmente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto nº 10.936/2022, consolidou a responsabilidade compartilhada e a valorização dos resíduos. O RCD, quando adequadamente beneficiado, é

reconhecido legalmente como uma alternativa viável para pavimentação, contribuindo para a redução do uso de recursos naturais e mitigação de impactos de disposição inadequada.

O Problema e Justificativa

Em grandes empreendimentos de infraestrutura, o gerenciamento do RCD representa um custo significativo. Despesas com transporte e descarte em áreas licenciadas podem superar o custo dos próprios materiais de construção. A reutilização do RCD na própria obra, portanto, gera benefícios econômicos diretos e mitiga impactos ambientais. Contudo, sua aplicação exige rigor técnico. É imprescindível assegurar que os agregados reciclados atendam aos requisitos de desempenho e durabilidade, conforme normas como a ABNT NBR 15116:2021. Este estudo se justifica pela necessidade de validar, em condições reais de campo, o comportamento desses materiais, focando na análise de um trecho experimental já em operação.

Objetivos

O objetivo principal é avaliar as condições de uso de agregados reciclados de RCD em camadas de base e sub-base de pavimentos asfálticos, analisando o comportamento estrutural e funcional de trechos implementados.

Os objetivos específicos incluem:

- Análise do potencial de mitigação de impactos ambientais pela redução da extração de recursos naturais;
- Avaliação do impacto econômico comparativo entre o uso de RCD e agregados naturais;
- Exame da viabilidade técnica através de parâmetros de desempenho estrutural (Módulo de Resiliência via retroanálise FWD/MeDiNa);
- Identificação de fatores críticos, como a presença de contaminantes, que possam comprometer a vida útil do pavimento.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O RCD como Insumo de Pavimentação

Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD), também referidos como Resíduos da Construção Civil (RCC), constituem um conjunto heterogêneo de materiais provenientes de obras, reformas e demolições. Estudos pioneiros no Brasil, como os de Bernucci et al. (2005) na USP-Leste, demonstraram que o RCD, quando compactado adequadamente, apresenta desempenho mecânico compatível com materiais convencionais. Freitas et al. (2012) reforçaram esses achados, destacando que o desempenho depende da composição do resíduo, sendo os agregados de concreto os que apresentam melhores resultados, embora materiais com teor cerâmico também sejam viáveis se respeitados os limites normativos.

Outros Resíduos na Pavimentação

A busca por sustentabilidade na pavimentação não se limita ao RCD. Diversos outros resíduos têm sido estudados para substituição de materiais virgens:

- **Plásticos (PET):** Utilizados em misturas asfálticas, podem aumentar a resistência à deformação permanente devido ao alto ponto de fusão do PET ($> 250^{\circ}\text{C}$), que permite seu uso como agregado. Estudos de Serra et al. (2018) e Fontoura (2019) validaram a incorporação de PET e polietilenos (PEAD/PEBD) em ligantes e misturas.
- **Cinza Volante:** Subproduto de termelétricas, utilizada como fíler mineral. Aumenta a rigidez da mistura asfáltica e melhora a resistência à deformação permanente.
- **Escória de Aciaria:** Conhecida como "agregado siderúrgico", possui alta resistência e é uma alternativa às britas tradicionais. Seu uso reduz o passivo ambiental das siderúrgicas, estimado em milhões de toneladas no Brasil.
- **RAP (Reclaimed Asphalt Pavement):** Material fresado de pavimentos antigos, amplamente utilizados para reduzir o consumo de ligante asfáltico novo e agregados.
- **Vidro:** Resíduos de vidro moído podem ser incorporados em solos para estabilização, melhorando o Módulo de Resiliência e reduzindo a deformação permanente.

Essas experiências validam a tendência global de incorporar resíduos na infraestrutura viária, contexto no qual o RCD se insere como o material de maior volume disponível.

Viabilidade Econômica do RCD

A viabilidade econômica é um dos principais atrativos do RCD. Araújo et al. (2019) realizaram um estudo comparativo de custos para camadas de base, demonstrando economias expressivas. A utilização de Brita Graduada Simples (BGS) reciclada pode ser até **56,67% mais econômica** do que a BGS de jazida natural (Tabela 1).

Tabela 1. Comparativo de Custos Unitários de Serviço em Camada de Base

Local	Material	Tabela	Un.	Custo (R\$/m³)
Jazida Natural	Base em brita graduada simples (BGS)	SEINFRA	m³	83,25
Jazida Natural	Base em solo brita com 50% de brita	SEINFRA	m³	57,66
Reciclado	Base em brita graduada simples (BGS) reciclada	Composição Própria	m³	36,15
Reciclado	Base em solo brita com 50% de brita reciclada	Composição Própria	m³	40,43

Fonte: Elaborado a partir dos dados dos bancos oficiais de custos de obras.

Essa redução de custos deve-se à menor necessidade de extração, transporte reduzido (logística reversa ou uso local) e eliminação de taxas de descarte. Além disso, há benefícios indiretos como o aumento da vida útil dos aterros sanitários e a redução de gastos públicos com limpeza de descartes irregulares.

Fundamentação Teórica: Mecânica dos Pavimentos e Retroanálise

A mecânica dos pavimentos estuda o sistema em camadas sob cargas veiculares. Nos métodos mecanísticos, aplica-se a teoria da elasticidade, exigindo o conhecimento do **Módulo de Resiliência (MR)** e do coeficiente de Poisson (ν) dos materiais.

O MR representa a rigidez elástica do material sob carregamento cíclico e é definido pela equação:

$$R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_1} \quad (1)$$

onde

σ_d é a tensão desvio ($\sigma_1 - \sigma_3$) e ε_1 ou ε_r é a deformação resiliente axial (vertical):

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (2)$$

onde

Δh é o deslocamento vertical máximo e h_0 é a altura inicial de referência do corpo de prova cilíndrico, correspondente ao posicionamento e fixação dos LVDTs (linear variable differential transformer), que são os transdutores mecanoeletromagnéticos presos em alças ou braçadeiras no terço médio do corpo de prova que farão a medição dos deslocamentos verticais sob o carregamento de compressão alternado.

Para pavimentos já construídos o MR pode ser determinado em laboratório, por meio da realização de ensaios cíclicos de amostras, ou analiticamente, por meio de retroanálises de bacias de deflexões. Neste último, a determinação do MR é feita por **retroanálise** das bacias de deflexão obtidas em ensaios não destrutivos, como o FWD (*Falling Weight Deflectometer*). O método consiste em ajustar modelos numéricos até que as deflexões teóricas coincidam com as medidas em campo. No Brasil, utiliza-se o software **BackMedina**, parte do método nacional de dimensionamento (MeDiNa), que utiliza a rotina de análise elástica de multicamadas (AEMC). A retroanálise permite inferir as condições reais das camadas *in situ*, identificando perdas de rigidez e validando o uso de materiais alternativos como o RCD.

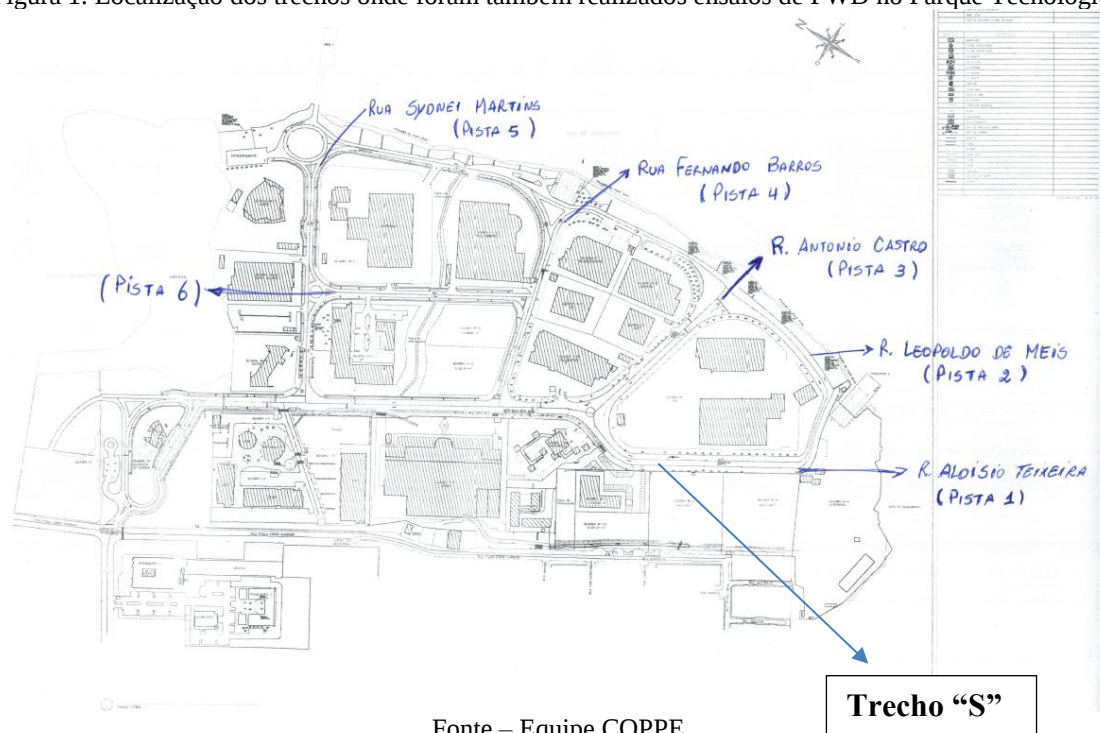
MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do Objeto de Estudo

O estudo foi realizado no **Trecho "S"** do Parque Tecnológico da UFRJ, na Ilha do Fundão. O trecho experimental foi pavimentado utilizando RCD proveniente da demolição da ala norte do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho. A demolição gerou cerca de 137 mil toneladas de resíduo, que formaram uma "montanha de entulho" antes de serem processados.

O Trecho "S" possui aproximadamente 200 metros de extensão e está integrado ao sistema viário do parque. A área pavimentada com RCD abrangeu camadas de base e sub-base, totalizando cerca de 12.772 m² em uma fase de implantação de infraestrutura.

Figura 1. Localização dos trechos onde foram também realizados ensaios de FWD no Parque Tecnológico.



Metodologia de Ensaios de Campo

A campanha experimental, realizada entre maio e outubro de 2023, utilizou métodos não destrutivos e destrutivos para avaliação integral do pavimento.

Avaliação Estrutural (FWD)

Foi utilizado o equipamento FWD (Falling Weight Deflectometer), que aplica uma carga de impacto na superfície do pavimento simulando a passagem de uma roda de veículo pesado. Sensores (geofones) dispostos radialmente medem os deslocamentos verticais (deflexões) da superfície, formando a "bacia de deflexão".

Os ensaios foram realizados não apenas no Trecho "S", mas também em outras pistas do parque (Pistas 1 a 6) para fins comparativos. Os dados coletados foram processados no software BackMedina para a retroanálise dos módulos.

Figura 2– Avaliação estrutural do segmento com RCD.



Fonte: Equipe COPPE – 23 de maio de 2023.

Avaliação Funcional (IRI e Grip Tester)

- **IRI (Índice de Irregularidade Internacional):** A irregularidade longitudinal foi medida utilizando perfilômetro laser. O IRI quantifica o desvio da superfície em relação a um plano de referência (m/km), impactando diretamente o conforto do usuário.
- **Grip Tester (Atrito):** A resistência à derrapagem foi avaliada com o equipamento Grip Tester, um medidor contínuo de atrito rebocável. O ensaio mede o coeficiente de atrito (Grip Number - GN) em pista molhada, essencial para a segurança viária.

Figura 3 – Avaliação com equipamento grip do segmento com RCD.



Fonte: Equipe COPPE – 23 de maio de 2023.

Avaliação Destrutiva (Sondagens)

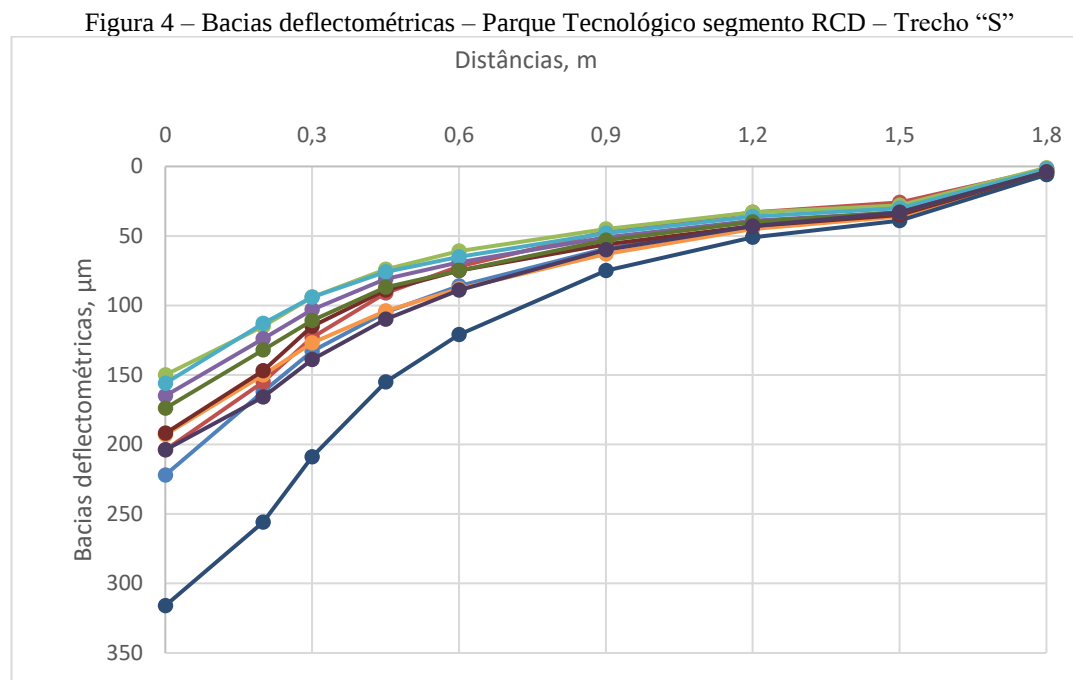
Foram executadas sondagens rotativas e extração de corpos de prova para verificação das espessuras das camadas e inspeção visual dos materiais. Essa etapa foi crucial para investigar as patologias observadas na superfície, permitindo a coleta de material da base e sub-base para análise macroscópica.

Análise e Discussão dos Resultados

Desempenho Estrutural: Análise das Bacias Deflectométricas

Os ensaios de FWD geraram um extenso banco de dados de deflexões. No Trecho "S" (RCD), as bacias deflectométricas apresentaram consistência, com deflexões máximas (\$D_0\$) indicando boa capacidade de suporte.

Comparando as bacias do Trecho "S" com as das outras pistas, observou-se que o pavimento com RCD apresentou desempenho superior ou equivalente à maioria dos trechos executados com materiais convencionais, exceto pela Pista 3. As deflexões mais baixas no Trecho "S" sugerem uma estrutura rígida, capaz de distribuir bem as cargas.



Retroanálise MeDiNa

Para a retroanálise, a estrutura do pavimento foi modelada no BackMedina. Inicialmente, utilizou-se um modelo com revestimento (6 cm), base (24 cm) e sub-base (40 cm), conforme dados preliminares de sondagem (Tabela 2 da dissertação). No entanto, esse modelo inicial não convergiu satisfatoriamente com as bacias medidas.

Após revisão dos dados de projeto e novas sondagens, identificou-se a existência de uma camada de **reforço de 50 cm** em RCD. O modelo foi ajustado (Tabela 3 abaixo), permitindo uma convergência precisa entre as bacias teóricas e as medidas.

Tabela 2. Dados de entrada ajustados no BackMedina.

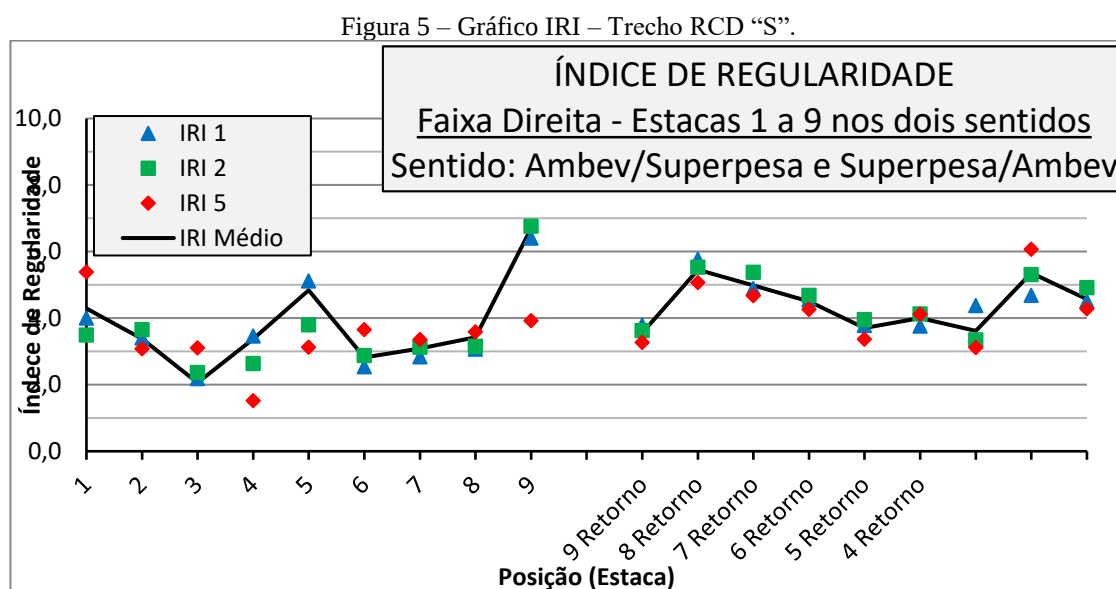
Estrutura	Espessura (cm)	MR Inicial (MPa)	Poisson	Interface
1. Revestimento	6	16.000	0,3	Aderido
2. Base (RCD)	24	600	0,35	Aderido
3.Reforço (RCD)	50	600	0,35	Aderido
4. Subleito	-	4.819	0,45	-

Fonte: Elaborado a partir dos dados dos bancos oficiais de custos de obras.

Os Módulos de Resiliência retroanalizados resultaram em valores compatíveis com o esperado para camadas granulares bem compactadas, confirmando a **viabilidade estrutural** do RCD para suportar o tráfego, inclusive de veículos pesados que circulam no parque.

Desempenho Funcional: IRI e Atrito

Irregularidade (IRI): Os valores de IRI medidos no Trecho "S" variaram entre 3,0 e 4,5 m/km na maioria das estacas, com picos isolados próximos a 6,0 m/km.

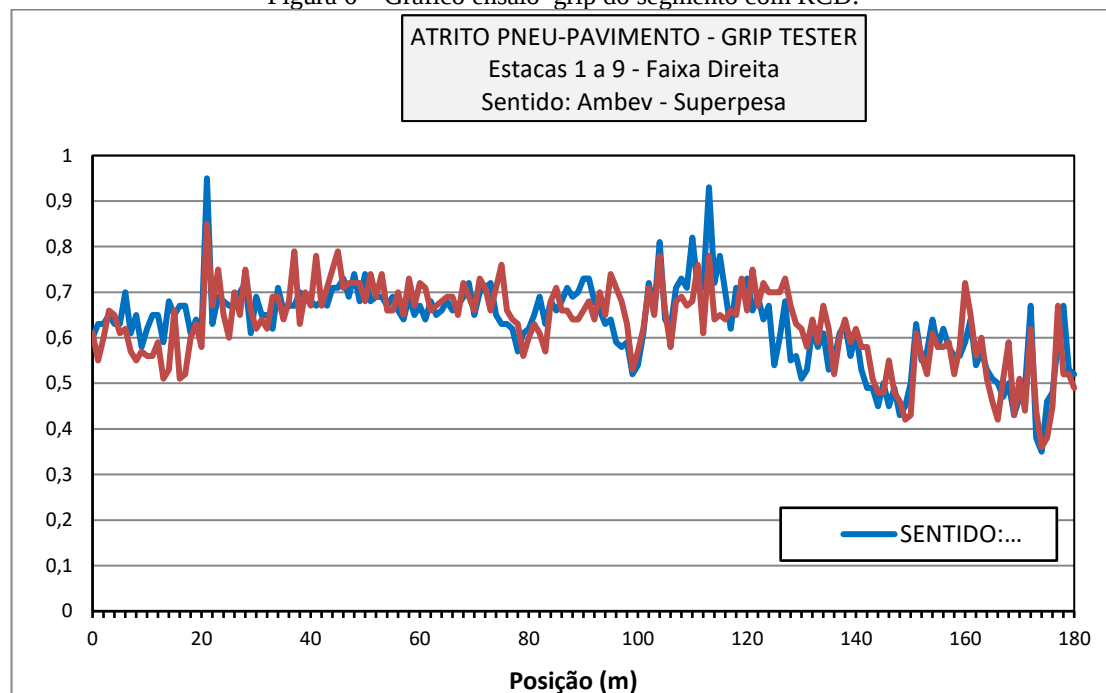


Fonte: Equipe COPPE – 23 de maio de 2023.

Esses valores classificam o pavimento como de qualidade "regular", o que é aceitável para uma via urbana de velocidade moderada, indicando que a base de RCD não induziu deformações excessivas que comprometessem o conforto de rolamento de forma crítica.

Atrito (Grip Tester): Os ensaios de atrito apresentaram Grip Numbers (GN) variando predominantemente entre 0,55 e 0,75 (Tabelas do Anexo). Embora adequados para as velocidades praticadas no local (30-40 km/h), a análise indicou que tais valores seriam insuficientes para rodovias de alta velocidade (> 80 km/h). Isso aponta para a necessidade de tratamentos superficiais específicos (como microrevestimento) caso o RCD seja utilizado em rodovias rápidas, para garantir a macrotextura e a segurança.

Figura 6 – Gráfico ensaio grip do segmento com RCD.



Fonte: Equipe COPPE – 23 de maio de 2023.

Análise da Durabilidade: A Patologia da Corrosão

A investigação revelou uma patologia crítica: o surgimento de trincas em forma de rede, conhecidas como "**pé de galinha**", na superfície do pavimento. Diferente das trincas por fadiga clássica, estas não estavam associadas ao colapso estrutural da base (os MR eram altos).

A sondagem destrutiva nos pontos afetados expôs a causa: a presença de **fragmentos metálicos (ferragens, vergalhões)** misturados ao RCD da base e sub-base.

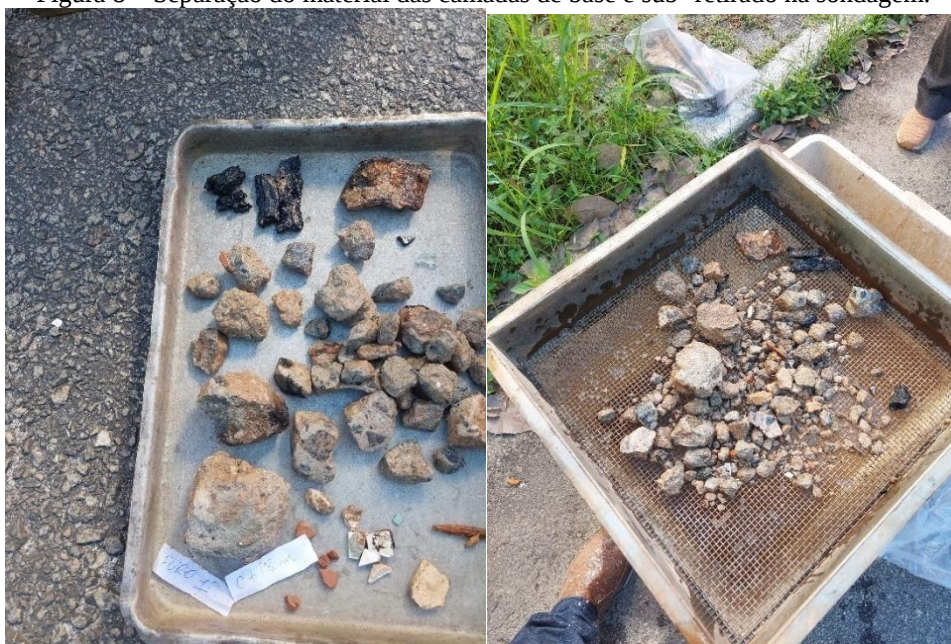
- **Mecanismo:** A umidade penetra nas camadas granulares e atinge os metais ferrosos. Ocorre a oxidação (corrosão), transformando o ferro em óxidos (ferrugem).
- **Expansão:** Os produtos da corrosão ocupam um volume significativamente maior que o metal original. Essa expansão gera pressões internas elevadas que "empurram" o revestimento para cima, fraturando-o.

Figura 7 – Avaliação por meio de sondagens das camadas do pavimento do trecho “S” .



Fonte: Equipe COPPE – 4 de julho de 2023.

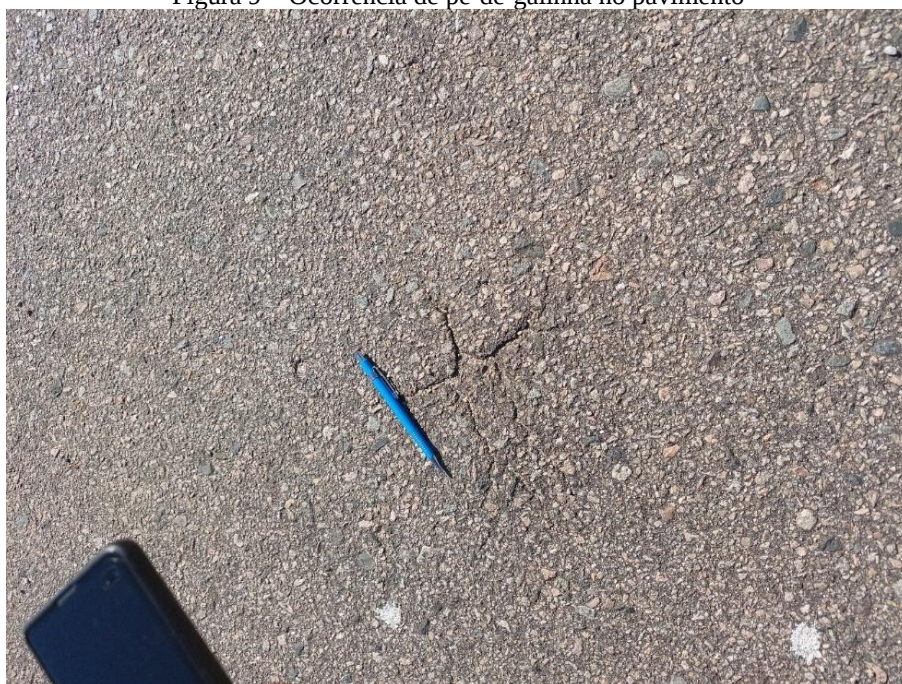
Figura 8 – Separação do material das camadas de base e sub- retirado na sondagem.



Fonte: Equipe COPPE – 4 de julho de 2023.

As fotos das amostras retiradas mostram claramente a contaminação metálica no material peneirado. Este achado é fundamental: a viabilidade do RCD não depende apenas da sua resistência mecânica, mas crucialmente da **pureza do material**. O processo de beneficiamento falhou na remoção desses contaminantes, violando os requisitos de qualidade para agregados de pavimentação.

Figura 9 – Ocorrência de pé-de-galinha no pavimento



Fonte: Fotos de campo equipe COPPE – maio de 2023.

Figura 10 – Separação do material das camadas de base e sub- retirado na sondagem.



Fonte: Equipe COPPE – 4 de julho de 2023.

CONSIDERAÇÕES

Considerações Principais

Os resultados deste estudo confirmam que a utilização de agregados reciclados provenientes de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) constitui uma alternativa tecnicamente viável sob a perspectiva estrutural. As retroanálises realizadas no software MeDiNa evidenciaram que, quando devidamente compactados, esses materiais alcançam Módulos de Resiliência satisfatórios para aplicação em camadas de base e sub-base, apresentando capacidade para suportar carregamentos típicos de tráfego urbano e pesado.

Do ponto de vista econômico, a adoção dos agregados reciclados demonstrou elevado potencial de redução de custos, superando 50% em comparação aos agregados naturais. Esse resultado reforça o papel dos materiais reciclados como estratégia eficaz tanto para a viabilidade financeira de obras de infraestrutura quanto para a promoção da sustentabilidade ambiental.

Entretanto, observou-se que a durabilidade do pavimento foi significativamente afetada por deficiências no processo de beneficiamento dos agregados. A presença de contaminantes metálicos ferrosos resultou em trincas por expansão decorrente de processos corrosivos, configurando uma patologia de alta gravidade e capaz de comprometer a vida útil do pavimento.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2021.

ARAÚJO, C. B. C.; AYRES, T. M. C.; SANTOS, J. O. **Análise da Utilização de RCD em Obras de Pavimentação na Cidade de Fortaleza**. 2019. (Trabalho Técnico/Artigo).

ARAÚJO, M. G. et al. **Análise de viabilidade econômica do uso de agregados reciclados de RCD em obras de pavimentação**. Revista Engenharia Civil, v. 65, p. 45-58, 2019.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS/ABEDA, 2005.

BERNUCCI, L. L. B.; LEITE, F. C.; MOTTA, R. S. **Aplicação de agregado reciclado de RCD em pavimentação: sistema viário da USP-Leste**. In: SEMINÁRIO GESTÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO AVANÇOS E DESAFIOS, 2005, São Paulo. *Apresentação*. CD. São Paulo, 2005.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 jan. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções nº 431/2011; nº 448/2012; nº 469/2015**. Alteram a Resolução nº 307/2002.

FREITAS, E. S. et al. **Estudo do comportamento mecânico de agregados reciclados de RCD para uso em pavimentação**. Revista Transportes, v. 20, n. 2, p. 49-58, 2012.

FREITAS, J. A. P.; MOTTA, L. M. G.; BERNUCCI, L. B. **Utilização de resíduos da construção civil em pavimentos rodoviários: avaliação da utilização em base e em sub-base**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Pavimentação: Controle Tecnológico**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

MEDINA, J. et al. **MeDiNa - Método de Dimensionamento Nacional**. Rio de Janeiro: DNIT/UFRJ, 2020.

MILLER, John S.; BELLINGER, William Y. Distress identification manual for the Long-Term Pavement Performance Program. 4. ed. rev. McLean: Federal Highway Administration, 2003. (Publication No. FHWA-RD-03-031).

MORENO PONCE, Luis Alfonso *et al.* **Mantenimiento y conservación de carreteras**. 1. ed. Alcoy: 3Ciencias, 2018. ISBN 978-84-948074-9-7. DOI 10.17993/IngyTec.2018.28.

MOTTA, L. M. G.; BERNUCCI, L. B.; CERATTI, J. A. P. **Aplicação de materiais reciclados em camadas de pavimentos**. In: Simpósio Internacional de Pavimentação, 2013.

MOTTA, L. M. G.; RIBEIRO, M. B. V.; LEANDRO, D. L. N. **Método de Dimensionamento e Análise de Pavimentos Asfálticos (MeDiNa): Manual de Aplicação**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2016.

PINTO, T. P. **Gerenciamento Integrado dos Resíduos da Construção Civil**. São Paulo: IPT, 2005.

SILVA, H. M. R. D.; OLIVEIRA, J. R. M.; PERA, J. **Use of recycled materials in road construction.** Construction and Building Materials, v. 25, n. 6, p. 2739-2748, 2011.

YODER, E. J.; WITCZAK, M. W. **Principles of Pavement Design.** New York: Wiley, 1975.