

# O CASO DE ESTUDO SOBRE RECICLAGEM A FRIO EM CENTRAL COM BETUME-ESPUMA NA ER243 - ACESSIBILIDADES À ZONA INDUSTRIAL DE RIACHOS

Francisco Castro, [francisco.castro@pragosa.pt](mailto:francisco.castro@pragosa.pt)

Gonçalo Henriques, [goncalo.henriques@pragosa.pt](mailto:goncalo.henriques@pragosa.pt)

João Carvalho, [joao.carvalho@pragosa.pt](mailto:joao.carvalho@pragosa.pt)

Construções Pragosa S.A., Porto de Mós, Portugal

Joel Oliveira, [joliveira@civil.uminho.pt](mailto:joliveira@civil.uminho.pt)

Hugo Silva, [hugo@civil.uminho.pt](mailto:hugo@civil.uminho.pt)

Caroline Moura, [id8972@alunos.uminho.pt](mailto:id8972@alunos.uminho.pt)

Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal

Anabela Martins, [anabela.martins@infraestruturasdeportugal.pt](mailto:anabela.martins@infraestruturasdeportugal.pt)

José Nuno Santos, [jose.cmsantos@infraestruturasdeportugal.pt](mailto:jose.cmsantos@infraestruturasdeportugal.pt)

José Rafael Almeida, [jose.falmeida@infraestruturasdeportugal.pt](mailto:jose.falmeida@infraestruturasdeportugal.pt)

Infraestruturas de Portugal S.A., Almada, Portugal

**RESUMO:** No contexto atual, em que a sustentabilidade e a circularidade de materiais são objetivos prioritários, as técnicas de reciclagem em pavimentos são estratégicas ao promover a reutilização de recursos e a redução do impacto ambiental das intervenções rodoviárias. Este artigo descreve um caso de estudo com aplicação da técnica de reciclagem a frio com betume-espuma em Portugal, utilizando uma central móvel, na requalificação da “ER243 – Acessibilidades à Zona Industrial de Riachos”. Este método inovador permite a reutilização integral de material fresado de camadas betuminosas degradadas, promovendo soluções mais sustentáveis. A metodologia de controlo de qualidade, concebida para validar a formulação laboratorial e confirmar características mecânicas previstas no projeto, teve duas fases. A primeira consistiu no controlo da construção da camada reciclada, com resultados alinhados às boas práticas internacionais. A segunda avaliou o desempenho da solução após a pavimentação, com ensaios de tração indireta, sensibilidade à água e módulo de rigidez ao material reciclado extraído do pavimento. Os resultados demonstraram vantagens ambientais significativas e reforçaram o potencial desta solução, contribuindo para a promoção de técnicas de reciclagem mais sustentáveis na construção, com critérios específicos de controlo de qualidade para suportar uma adoção mais ampla.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem a frio, Betume-espuma, Pavimentos sustentáveis, Reutilização de materiais, Controlo de qualidade, Desempenho das misturas

## **1. Introdução**

No contexto atual das alterações climáticas, que exige a redução das emissões de gases com efeito de estufa, o setor rodoviário é desafiado a repensar os métodos e materiais de construção. Neste enquadramento, as Misturas Recicladas a Frio com Betume-Espuma (MRFBE) surgem como uma solução inovadora, permitindo a reciclagem integral de materiais fresados de camadas betuminosas degradadas, com a vantagem adicional de dispensarem temperaturas elevadas no processo.

O principal objetivo deste documento é divulgar, de forma detalhada, os conhecimentos adquiridos no caso de estudo “ER243 – Acessibilidades à Zona Industrial de Riachos”, pioneiro em Portugal no processo de fabrico de misturas recicladas a frio com betume-espuma em central móvel. Para tal, detalha-se a metodologia de controlo de qualidade em várias fases.

## **2. Controlo na Produção e Execução**

### **2.1 Ensaios Realizados Durante a Produção e Execução**

Para a produção da MRFBE em central móvel, foram implementadas várias medidas de controlo de produção. Relativamente ao armazenamento do material fresado, controlou-se a granulometria, o teor em água e a temperatura. Relativamente ao betume, verificou-se a sua adequabilidade para espumar e garantiu-se que a sua temperatura era superior a 160 °C (condição necessária para espumar o betume 70/100).

A produção diária foi acompanhada por um conjunto de ensaios realizados a partir de amostras recolhidas em obra, permitindo a caracterização físico-mecânica do material reciclado através da realização dos seguintes ensaios: teor de água, análise granulométrica, Proctor modificado, tração indireta, baridade aparente e baridade máxima teórica.

Após a pavimentação da camada reciclada, foram realizadas campanhas que incluíram a extração de carotes para controlo de espessura, determinação da baridade aparente e da porosidade.

### **2.2 Ensaios Realizados no Laboratório da Universidade do Minho**

O laboratório da Universidade do Minho participou na formulação da mistura aplicada, recorrendo a ensaios com material fresado da própria obra. A mistura final incorporou 2,6% de betume-espuma, 2,0% de cimento e 4,0% de filer calcário comercial. Foram realizados ensaios de módulo de rigidez que permitiram estimar para a mistura resultante da formulação o valor de 2500 MPa, parâmetro utilizado no dimensionamento estrutural.

## **3. Análise dos Resultados e Notas Finais**

Para validar a execução em obra e avaliar o desempenho da mistura, foram extraídas lajes de material reciclado em três pontos distintos, das quais se obtiveram provetes cilíndricos para ensaios de tração indireta (ITS) em condições secas e húmidas. Os resultados revelaram valores de ITS e ITSR significativamente superiores aos obtidos em laboratório, com a sensibilidade à água (ITSR) acima do limiar recomendado (50%), demonstrando o bom desempenho da mistura reciclada. Adicionalmente, a determinação do módulo de rigidez nesses provetes confirmou características mecânicas superiores às previstas em projeto, validando a utilização da totalidade do material fresado da própria obra e assegurando um desempenho adequado da solução em serviço.

Em conclusão, o caso de estudo da ER243 demonstrou que a reciclagem a frio em central com betume-espuma é uma solução viável e sustentável para a reabilitação rodoviária, apta a suportar níveis de tráfego inferiores a T2 e a reduzir o impacto ambiental. Pretende-se, assim, que os resultados obtidos contribuam para a futura integração desta técnica nas especificações do Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO), promovendo a sua adoção generalizada e a reabilitação sustentável da rede rodoviária nacional.