

# MARCAÇÕES RODOVIÁRIAS TERMOCRÓMICAS: SENSORES A BASE DE COR PARA ALERTAR CONDUTORES SOBRE A PRESENÇA DE GELO E NEVE EM PAVIMENTOS BETUMINOSOS

Orlando Lima Jr.

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

Centro de Física das Universidades do Minho e do Porto (CF-UM-UP), Campus de Azurém, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, orlandojunior.jr@hotmail.com

Iran Rocha Segundo

CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, iransegundo@tecnico.ulisboa.pt

Laura Mazzoni

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, laura.mazzoni@usp.br

Elisabete Freitas

ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, efreitas@civil.uminho.pt

Joaquim Carneiro

Centro de Física das Universidades do Minho e do Porto (CF-UM-UP), Campus de Azurém, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, carneiro@fisica.uminho.pt

## **Resumo executivo**

As condições climatéricas são fatores críticos em acidentes rodoviários. Em situações adversas de gelo ou neve sobre o pavimento, o atrito superficial é significativamente reduzido, diminuindo a segurança rodoviária. Outro fenómeno frequente em locais de clima frio é o *black ice*, uma camada fina e transparente de gelo que se forma sobre o pavimento e é praticamente invisível aos condutores e peões, resultando em situações de baixa aderência e aumento significativo do risco de acidentes. Além disso, durante episódios de neve, a visibilidade das marcas rodoviárias (MR) é comprometida, uma vez que tanto a neve quanto as marcas geralmente apresentam coloração branca, dificultando a sua visualização (baixo contraste visual) e, consequentemente, a orientação dos condutores.

Os materiais termocrómicos (MT) são materiais inteligentes capazes de mudar reversivelmente de cor a uma determinada temperatura de transição (TT), proporcionando um alerta visual imediato. Quando aplicados às

MR, esses materiais podem atuar como sensores de temperatura, alertando os condutores para condições adversas na superfície do pavimento. Por exemplo, MR termocrômicas podem ser projetadas para mudar de cor próximo do ponto de congelação da água (0 °C). Desta forma, as MR podem mudar reversivelmente da coloração branca (maioritariamente utilizada) para uma nova coloração.

Este estudo tem como principal objetivo desenvolver MR utilizando MT para atuarem como sensores visuais. Para isso, uma tinta acrílica branca à base de água para MR foi funcionalizada com diferentes teores de MT comerciais (5% e 10% m/m) com TT de 0 °C. Após a funcionalização, foram realizadas análises morfológicas e de composição elementar através da Microscopia Electrónica de Varrimento (SEM) e Espectroscopia de Dispersão de Energia de Raios X (EDS) aos MT e às amostras de tinta funcionalizadas. Em seguida, as MR termocrômicas foram aplicadas sobre provetes de AC10 e avaliadas quanto à mudança de cor pelo sistema CIELAB, num intervalo de temperatura de -15 °C a 25 °C. Juntamente com as medidas de colorimetria, também foram realizadas medidas dos coeficientes de luminância (Qd) e retroreflexão (RL) ao longo da mesma faixa de temperaturas.

Os resultados destacam que as MR funcionalizadas com MT demonstraram um desempenho visual de mudança de cor eficaz e responsivo à variação de temperatura na faixa de temperaturas que caracteriza condições de risco associadas à formação de gelo (temperaturas abaixo de 0 °C). A condição de funcionalização com 10% de MT apresentou a maior capacidade de mudança de cor (17% maior do que a condição com 5% em -15 °C), reforçando o aumento da resposta termocrômica para maiores quantidades de MT incorporados às MR. Apesar da ligeira redução nos parâmetros de RL e Qd em temperaturas negativas, esses valores mantiveram-se dentro de intervalos considerados adequados para a visibilidade rodoviária. Além disso, foi verificada a reversibilidade das propriedades ópticas de coloração, RL e Qd, com os valores após o aquecimento a regressarem aos níveis observados antes do arrefecimento. Estes resultados comprovam o potencial das MR termocrômicas como uma solução inovadora e eficaz para o reforço da segurança rodoviária de forma a mitigar acidentes em regiões com invernos rigorosos.

**PALAVRAS-CHAVE:** marcas rodoviárias, materiais inteligentes, termocromismo, segurança rodoviária, retroreflexão.