

# Desenvolvimento de fibras de mudança de fase para regulação térmica

Nathalia Hammes<sup>1,2</sup>, Claver Pinheiro<sup>1</sup>, José Monteiro<sup>3</sup>, Iran Rocha Segundo<sup>1</sup>, Natália Homem<sup>2,4</sup>, M. Manuela P. Silva<sup>5</sup>, Helena P. Felgueiras<sup>2</sup>, Graça M. B. Soares<sup>2</sup>, Elisabete Freitas<sup>6</sup>, Manuel F. M. Costa<sup>7</sup>, Joaquim Alexandre O. Carneiro<sup>1</sup>

1. Centro de Física da Universidade do Minho e do Porto (CF-UM-UP), Av. da Universidade, Guimarães, 4800-058, Portugal

2. Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil, Universidade do Minho (2C2T - UMinho), Av. da Universidade, Guimarães, 4800-058, Portugal

3. Universidade do Minho, Escola de Ciências, Campus de Gualtar, Braga, 4710-057, Portugal

4. Simoldes Plásticos S.A, No. 165, Rua Comendador António da Silva Rodrigues, Oliveira de Azeméis, 3720-193, Portugal

5. Centro de Química da Universidade do Minho (CQ - UMinho), Campus de Gualtar, Braga, 4710-057, Portugal

6. Universidade do Minho, ARISE, Departamento de Engenharia Civil (ISISE - UMinho), Av. da Universidade, Guimarães, 4800-058, Portugal

7. Centro de Física da Universidade do Minho e do Porto (CF-UM-UP), R. da Universidade, Braga, 4710-057, Portugal

id11659@alunos.uminho.pt

## Resumo

O aquecimento global impõe o desenvolvimento de novos materiais e estratégias de regulação térmica. Materiais de mudança de fase (PCM) são capazes de absorver e libertar energia térmica num processo de fácil controlo. Estes materiais podem ser incorporados em fibras facilitando a sua aplicação, por exemplo em pavimentos asfálticos, absorvendo calor durante o dia e libertando-o durante a noite reduzindo, assim, o efeito das Ilhas de Calor Urbano (ICU) que tão negativamente podem afetar a vida nas nossas cidades. Fibras de mudança de fase (PCF), compostas por Acetato de Celulose (CA) e Polietilenoglicol (PEG), foram produzidas usando a técnica de fiação húmida com diferentes velocidades de extrusão. O CA atua como bainha de proteção, e o PEG, como material de mudança de fase (PCM) capaz de absorver ou emitir energia térmica. Análises como espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), microscopia de campo claro, termogravimetria (TGA) e calorimetria diferencial de varrimento (DSC) confirmaram a presença de PEG incorporado em fibra.

## Introdução

Devido às alterações climáticas, o aquecimento dos pavimentos asfálticos das nossas cidades provoca o aparecimento de ilhas de calor de efeitos consideravelmente negativos na qualidade de vida e saúde dos cidadãos. Materiais de mudança de fase têm a capacidade de absorver energia térmica nas alturas de maior calor e libertar a energia acumulada durante a noite quando a temperatura atmosférica baixa, podendo, assim, funcionar como reguladores térmicos [1].

Os desafios colocados pelas alterações climáticas e os seus efeitos, como o aquecimento global, requerem que a comunidade académica e científica investigue e desenvolva soluções inovadoras e sustentáveis. Uma destas soluções reside na utilização de materiais de mudança de fase (PCM), capazes de absorver calor durante as horas mais quentes e libertá-lo à noite, contribuindo assim para a regulação térmica dos ambientes. Esta tecnologia mostra-se particularmente promissora para

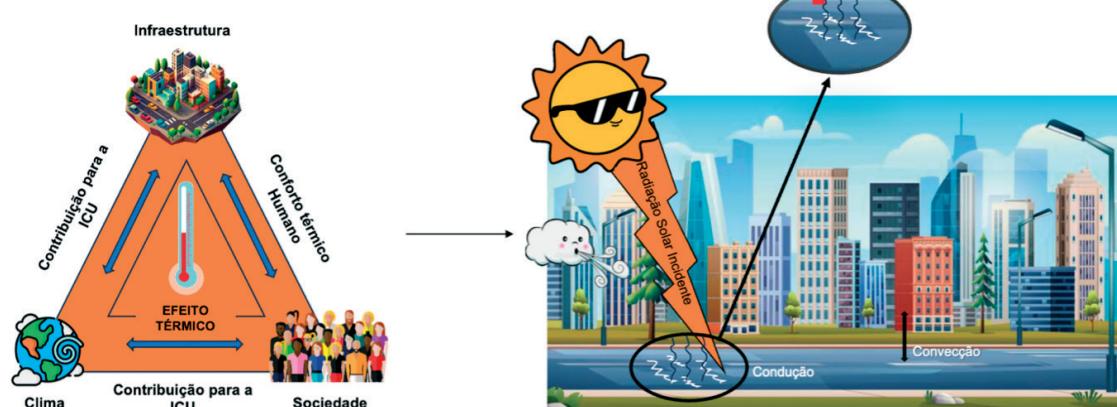


Figura 1 - Efeito das Ilhas de Calor Urbano (ICU) devido aos pavimentos asfálticos.

aplicação em meio urbano, nomeadamente em pavimentos asfálticos, com o intuito de mitigar o fenómeno das Ilhas de Calor Urbano (ICU) [2].

As ICU, que ilustramos na Figura 1, ocorrem quando áreas urbanas se tornam substancialmente mais quentes do que as suas zonas rurais circundantes, uma consequência da concentração de edifícios, veículos e, especialmente, asfalto. A cor escura facilita a absorção de quantidades significativas de calor, elevando a temperatura nas cidades. Este aumento não só causa desconforto, como também pode ter impactos negativos na saúde pública e no ambiente.

A integração de PCM em pavimentos asfálticos, embora já reconhecida a nível internacional como uma estratégia eficaz para contrariar os efeitos das ICU, necessita ainda de ser extensivamente estudada em Portugal. Tal inovação promete não só melhorar a qualidade de vida urbana, mas também aumentar a durabilidade dos pavimentos, que se degradam menos sob altas temperaturas [3].

Este estudo ultrapassa a sua dimensão técnica ao incorporar valores de responsabilidade ambiental, realçando a importância de uma educação científica focada em inovação consciente e no desenvolvimento do pensamento crítico. A metodologia empregue pretende despertar o interesse de estudantes e investigadores emergentes no desenvolvimento e investigação de tecnologias sustentáveis, destacando o papel essencial da ciência e da tecnologia na resolução de problemas ambientais e no avanço para um futuro mais verde.

Refletindo sobre a introdução dos PCM de uma forma simples, mas com referências específicas, destaca-se as fibras de mudança de fase (PCF), também conhecidas como fibras termor-reguladoras, um tipo de PCM. Estas têm sido objeto de estudo devido ao seu potencial em armazenar energia térmica e controlar a temperatura de pavimentos asfálticos, edifícios urbanos e têxteis inteligentes de alto desempenho. As PCF são capazes de armazenar e libertar energia térmica durante o processo de mudança de fase, o que permite mitigar e prevenir problemas ambientais, sociais e económicos. A literatura descreve vários métodos de preparação destes materiais, incluindo técnicas como enchimento, revestimento, microencapsulação, fiação por fusão e fiação húmida, desde os anos 1980 [4].

Entre esses métodos, a fiação húmida destaca-se pelas suas vantagens, tais como a ausência de calor durante a produção, reduzindo o risco de degradação térmica, e a capacidade de produzir fibras contínuas ocas ou de núcleo preenchido com diferentes formas, diâmetros e tamanhos de secção transversal [5]. Contudo, ainda se necessita de mais investigação para expandir o leque de inovação. Este trabalho é um dos primeiros a detalhar o processo de fabrico de fiação húmida com estrutura de PCF, analisando o comportamento térmico e as propriedades morfológicas, químicas (ATR-FTIR) e térmicas (TGA, DSC) das PCF em comparação com suas fibras análogas ocas.

Ao analisar o uso dos materiais de mudança de fase (PCM) na solução de problemas reais, tais como as Ilhas de Calor Urbano (ICU), este trabalho ambiciona influenciar de forma significativa

a criação de políticas e práticas ambientalmente responsáveis. As universidades e laboratórios de investigação assumem um papel na sensibilização para a utilização prudente e sustentável de materiais e tecnologias, buscando melhorar a qualidade de vida. Espera-se que este estudo funcione não apenas como catalisador, mas também como impulso para uma série de outras iniciativas inovadoras e sustentáveis, estimulando a curiosidade e o interesse em investigações orientadas para solucionar os desafios ambientais atuais.

### Desenvolvimento de fibras de mudança de fase.

A produção das PCF foi realizada através do método de fiação húmida, utilizando os seguintes materiais: i) acetato de celulose comercial, do inglês cellulose acetate (CA, Sigma-Aldrich) em pó, com um 39,8 cg/g, Mn médio = 30 000 e 39,8 cg/g, Mn médio = 50.000, ii) Polietilenoglicol 2.000 H(OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>OH (PEG2000, Thermo Fisher Scientific), temperatura de fusão entre 53 °C e 55 °C, iv) N,N-Dimetilformamida (DMF, 99%, Sigma-Aldrich), e v) dH<sub>2</sub>O. DMF e dH<sub>2</sub>O foram utilizados como solventes para as soluções de CA e PEG, respectivamente. O CA, que é um éster de acetato de celulose e o derivado mais comum da celulose, foi escolhido como material polimérico para a bainha protetora devido às suas características naturais e não tóxicas, sendo amplamente utilizado na produção das fibras coaxiais de mudança de fase, do inglês *Phase Change Fibres* (PCF). Entre os vários PCM disponíveis na literatura e no mercado, o polietilenoglicol (PEG) foi selecionado para o núcleo das PCF pela sua alta capacidade de armazenamento, estabilidade química, baixo comportamento de sobrearrefecimento e ampla faixa de temperaturas de mudança de fase. Relativamente às propriedades térmicas do CA e do PEG, a Figura 2 e Figura 3 mostram a caracterização por TGA e DSC dos materiais virgens em estudo, respectivamente. No que diz respeito ao ensaio TGA, foram efetuados estudos de perda de massa dos materiais virgens em função do aumento da temperatura, sendo que a perda de massa para o PEG2000 se inicia a ≈ 350 °C e finaliza a ≈ 430 °C. Para CA comercial, a perda de massa começa a ≈ 315 °C e finaliza a ≈ 350 °C. Para o DSC, foram analisados os picos e as temperaturas de mudança de fase. Para estes ensaios, os materiais virgens obtiveram resultados esperados de acordo com a literatura, onde para o CA entre 230 °C e 235 °C e para o PEG entre 53 °C e 55 °C.

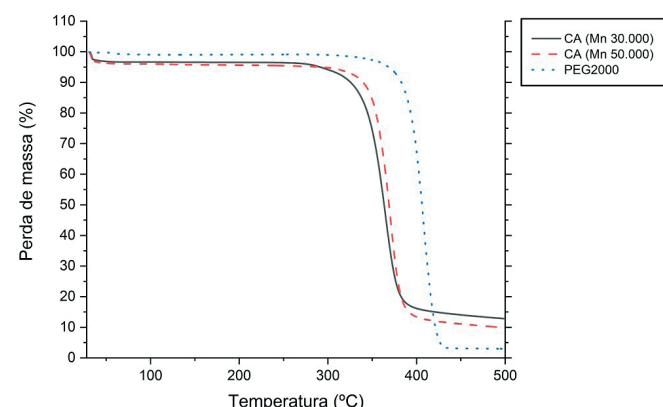


Figura 2 - TGA dos materiais virgens, aquecimentos obtidos de 25 até 500 °C sob atmosfera de azoto, fluxo de 200 mL/min e aumento de temperatura de 10 °C/min.

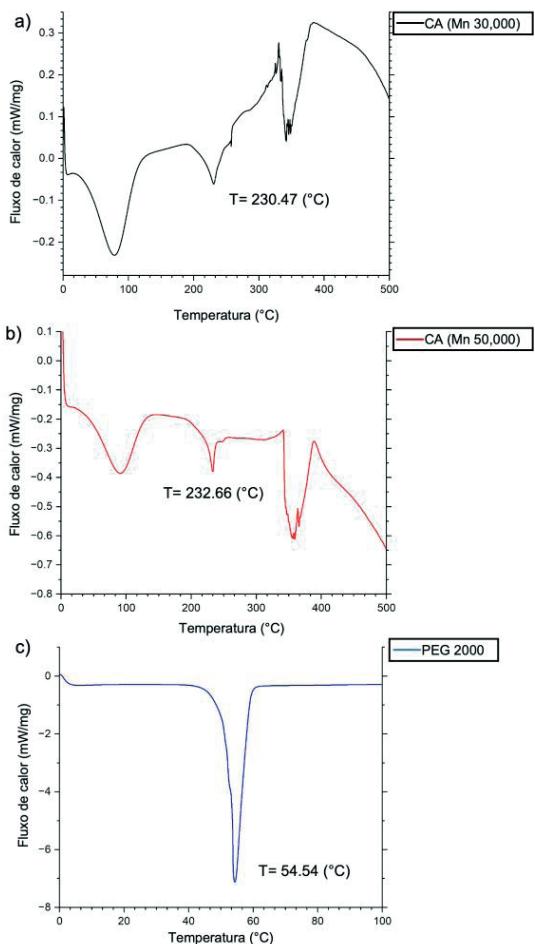


Figura 3 – DSC dos materiais virgens obtidos em aquecimento. a) CA (Mn 30.000). b) CA (Mn 50.000). c) PEG2000.

Soluções de CA (10-30 wt. %) e PEG2000 (40-60-80 wt. %) foram preparadas em DMF e dH<sub>2</sub>O, agitadas a 50 °C. Após remover bolhas de ar, a fiação húmida utilizou bombas de seringa, agulha coaxial e coletor automático. A Figura 4 mostra um esquema do processo. Fibras ocas (Fo) e de mudança de fase (PCF) diferiram apenas no material das cânulas internas e externas. Os parâmetros do processo [4,5] foram ajustados para obter fibras com melhores propriedades (Figura 5). A velocidade de ejeção do CA foi de 0,165 mL/min, e a do PEG2000 variou entre 0,130-0,140-0,150 mL/min. As fibras foram coletadas a 6,21 rpm, com a agulha a 5 cm do banho de coagulação e o coletor a 45 cm. Após a produção, as fibras foram secas por 1 hora e armazenadas em ambiente controlado para testes subsequentes.

As amostras de fibras funcionalizadas foram identificadas por uma nomenclatura alfanumérica Fo\_a\_b e PCF\_a\_b/x\_y,

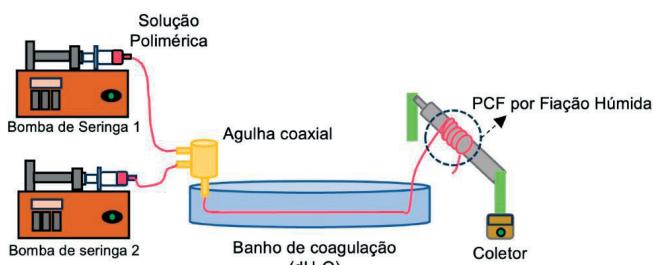


Figura 4 – Esquema de produção das PCF via fiação húmida.

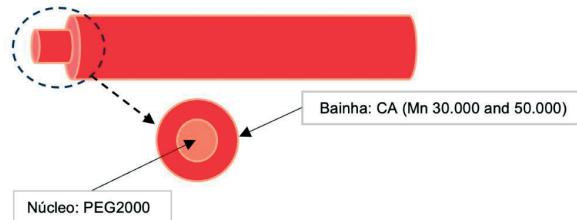


Figura 5 – Representação da PCF.

iniciada com "Fo" representando fibras ocas ou "PCF" representando fibras de mudança de fase. A letra "a" indica o peso molecular do CA (Mn 30 000 ou 50 000), a letra "b" representa a concentração de CA (10-20-30% em peso), a letra "x" indica a concentração de PEG2000 (40-60-80% em peso), e finalmente, a letra "y" representa a velocidade de ejeção de PEG2000 (0,130-0,140-0,150 mL/min). A velocidade de ejeção do CA (0,165 mL/min) e o peso molecular constante do PEG (Mn 2000) não foram incluídos na sequência alfanumérica das amostras. A morfologia das fibras, incluindo a deteção da presença de um sistema coaxial, será apresentada. As imagens foram obtidas com um aumento de 5x utilizando microscopia de campo claro através de um microscópio Leica DM IL LED.

As composições químicas das fibras foram analisadas por espectroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier de reflexão total atenuada (ATR-FTIR). Os espectros foram adquiridos no intervalo de números de onda de 400-4000 cm<sup>-1</sup> com uma resolução de 2 cm<sup>-1</sup>.

As análises termogravimétricas (TGA) foram realizadas para avaliar as variações na estabilidade térmica dos materiais poliméricos tanto virgens quanto das fibras. As amostras foram colocadas em cadinhos de platina e submetidas a um aquecimento a uma taxa de 10 °C/min na faixa de temperatura de 25 °C a 500 °C, sob uma atmosfera de N<sub>2</sub> com uma vazão de 200 mL/min.

Para a determinação da temperatura de mudança de fase, entalpia de fusão e variações endotérmicas, foi realizado o ensaio DSC. As amostras foram inseridas em cadinhos de alumínio e submetidas a um aquecimento com uma taxa de 10 °C/min no intervalo de temperaturas entre 25 °C e 500 °C, sob uma atmosfera de N<sub>2</sub> com uma vazão de 200 mL/min.

## Resultados e discussão

Após a produção das fibras ocas e das quatro PCF, elas foram analisadas por microscopia de campo claro para avaliar as suas morfologias, Figura 6. A observação das fibras ocas foi usada para indicar a presença de um sistema coaxial e comparar com as PCF. Nas PCF, foi observado que velocidades de ejeção mais rápidas do PEG2000 tornaram mais difícil distinguir entre a bainha e o núcleo. Isso deve-se ao PEG2000 ser solúvel em água destilada (dH<sub>2</sub>O) e à sua rápida coagulação quando entra em contato com as paredes da bainha protetora, resultando numa mistura mais eficiente entre o núcleo e a bainha.

O teste químico ATR-FTIR foi realizado primeiro para os materiais virgens e depois para as quatro PCF, a fim de comparar e identificar a presença de CA e PEG2000 nos PCFs (Figura 7). Os espectros das PCF apresentaram características combinadas dos

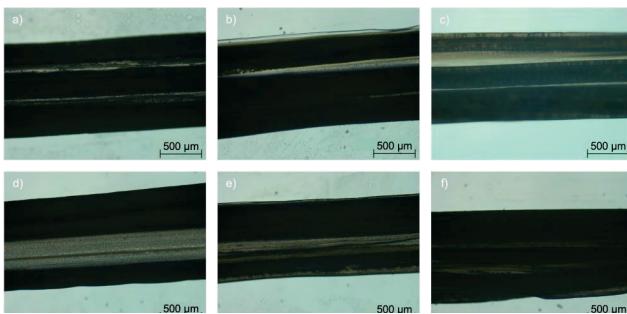


Figura 6 – Micrografias da morfologia das PCF obtidas por microscopia de campo claro. a) Fo\_30\_30. b) Fo\_50\_10 c) PCF\_30\_30/40\_130. d) PCF\_30\_30/60\_130. e) PCF\_50\_10/60\_140. f) PCF\_50\_10/80\_150.

dois materiais. Os picos  $2865\text{ cm}^{-1}$ ,  $1465\text{ cm}^{-1}$  e  $1105\text{ cm}^{-1}$  são picos característicos do PEG2000, onde é possível observar a presença do grupo éter e dos grupos  $\text{CH}_2$ . Os picos  $1745\text{ cm}^{-1}$ ,  $1231\text{ cm}^{-1}$  e  $1045\text{ cm}^{-1}$  são os picos característicos do CA, onde é possível observar a presença do grupo carbonila ( $\text{C=O}$ ) e estiramento éter ( $\text{C-O-C}$ ) nos grupos acetato; e  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$  na estrutura da celulose. Por fim, o pico  $1657\text{ cm}^{-1}$  indica que o DMF esteve presente nas amostras, ou seja, pode indicar que algum solvente permaneceu após o processo de coagulação.

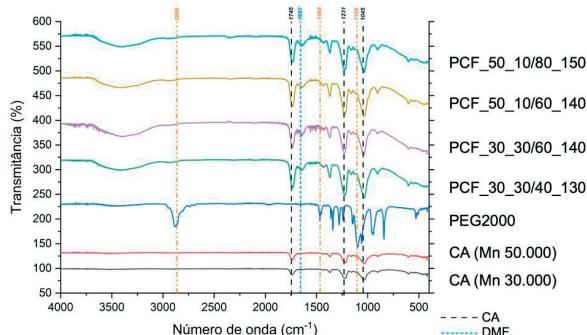


Figura 7 – Espectros ATR-FTIR das PCF.

A análise térmica (TGA), Figura 8, das PCF revelou uma perda inicial de massa devido à desidratação das fibras, seguida por uma estabilidade térmica até aproximadamente  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Acima dessa temperatura, ocorreu uma perda de massa devido à presença do PEG2000 no núcleo das fibras, resultando numa decomposição em duas fases, com a primeira degradação relacionada à quebra das cadeias do PEG2000. O ensaio de calorimetria diferencial de varrimento (DSC) das PCF, Figura 9, mostrou um comportamento distinto. A adição de PEG ao núcleo das fibras CA resultou numa transição endotérmica em torno de  $38,30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , representando a cristalização exotérmica do PEG. Também foi observado um pico a cerca de  $89,25\text{ }^{\circ}\text{C}$  devido às interações entre CA e PEG, reduzindo a transição vítrea ( $T_g$ ) do polímero CA. A qualidade da bainha protetora de CA afetou a energia necessária para a transição, sendo menor para PCF\_30\_30 e maior para PCF\_50\_10. A variação nas concentrações de PEG não afetou negativamente a cristalização devido à distribuição uniforme da solução a altas temperaturas.

## Conclusões

O fabrico de fibras de mudança de fase utilizando o método de fiação húmida revelou-se possível. Uma estrutura bem definida foi obtida com uma velocidade de ejeção de  $0,130\text{ mL/min}$ . A morfologia ideal foi obtida com PCF usando CA (Mn 30.000) na bainha e PEG2000 (concentração de 40%) no núcleo, com uma

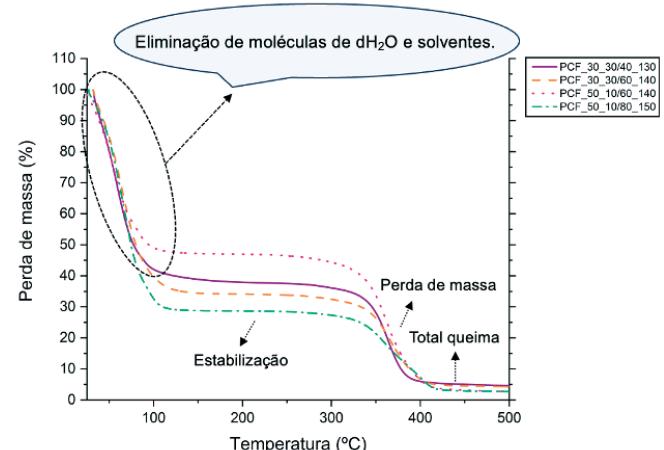


Figura 8 – TGA das PCF, aquecimentos obtidos de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  sob atmosfera de azoto, fluxo de  $200\text{ mL/min}$  e aumento de temperatura de  $10\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ .

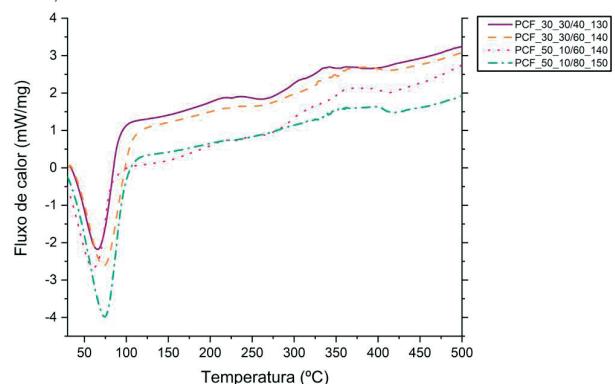


Figura 9 – DSC das PCF, aquecimentos obtidos de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  sob atmosfera de azoto, caudal de  $200\text{ mL/min}$  e aumento de temperatura de  $10\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ .

taxa de ejeção de PEG de  $0,130\text{ mL/min}$ , conforme visualizado por microscopia de campo claro. Observou-se uma possível mistura de PEG-CA em velocidades mais altas de ejeção do PEG, resultando em PEG intercalado em toda a fibra e um canal de ejeção menos visível. O FTIR identificou claramente o PEG no núcleo da fibra. O ponto de fusão do PEG2000 dentro das PCF correspondeu ao ponto de fusão do PEG puro, com um leve deslocamento, indicando a obtenção de PCF com mudança de fase. O peso molecular do CA e a concentração de PEG2000 influenciaram o ponto de fusão, enquanto as velocidades de ejeção do PEG2000 não tiveram esse efeito. Por fim, os testes de TGA mostraram que as PCF resistiram a altas temperaturas, indicando a sua capacidade de serem utilizadas em misturas e compactadas com asfalto.

## Agradecimentos

Esta investigação foi financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito dos projectos MicroCoolPav EXPL/EQU-EQU/1110/2021, NanoAir PTDC/FISMAC/6606/2020 (doi.org/10.54499/PTDC/FIS-MAC/6606/2020), UIDB/04650/2020, UIDB/04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), no âmbito do Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020, UID/CTM/00264/2020 e UID/QUI/00686/2020. Nathalia Hammes, Iran Rocha Segundo e Helena P. Felgueiras gostariam de agradecer à FCT pelo financiamento com a referência 2024.01990. BD, 2022.00763.CEECIND (doi.org/10.54499/2022.00763.CEECIND/CP1718/CT0006) e 2021.02720.CEECIND (doi.

## Referências

- [1] Segundo, I.R.; Freitas, E.; Branco, V.T.F.C.; Landi, S.; Costa, M.F.; Carneiro, J.O. Review and Analysis of Advances in Functionalized, Smart, and Multifunctional Asphalt Mixtures. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2021, 151, 111552, doi:10.1016/j.rser.2021.111552.
- [2] Gong, Z.; Zhang, L.; Wu, J.; Xiu, Z.; Wang, L.; Miao, Y. Review of Regulation Techniques of Asphalt Pavement High Temperature for Climate Change Adaptation. *J. Infrastruct. Preserv. Resil.* 2022, 3, 9, doi:10.1186/s43065-022-00054-5.
- [3] Pinheiro, C.; Hammes, N.; Lima, O.; Landi, S.; Homem, N.; Rocha Segundo, I.; Felgueiras, H.P.; Freitas, E.; Costa, M.F.M.; Carneiro, J. Reducing the Effects of Low Albedo of Asphalt Materials Incorporating Polyethylene Glycol (PEG) 1000, 2000 and 4000 as Phase Change Materials (PCM). *EPJ Web Conf.* 2023, 287, 09024, doi:10.1051/epjconf/202328709024.
- [4] Homem, N.C.; Tavares, T.D.; Miranda, C.S.; Antunes, J.C.; Amorim, M.T.P.; Felgueiras, H.P. Functionalization of Crosslinked Sodium Alginate/Gelatin Wet-Spun Porous Fibers with Nisin Z for the Inhibition of Staphylococcus Aureus-Induced Infections. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 1930, doi:10.3390/ijms22041930.
- [5] Hammes, N.; Pinheiro, C.; Segundo, I.R.; Homem, N.C.; Silva, M.M.; Felgueiras, H.P.; Soares, G.M.B.; Freitas, E.; Costa, M.F.M.; Carneiro, J.A.O. Coaxial Fibres Incorporated with Phase Change Materials for Thermoregulation Applications. *Appl. Sci.* 2024, 14, 2473, doi:10.3390/app14062473.



Nathalia Hammes concluiu o Mestrado Integrado em Engenharia de Materiais em 2022, na Universidade do Minho, Portugal, onde realizou dois estágios de investigação no âmbito da Engenharia de Materiais. Já foi premiada pelo destaque nas Jornadas de Materiais e também no Congresso Doutoral em Engenharia (DCE 23) pelo melhor poster no Simpósio de Ciência e Engenharia de Materiais. É coautora em 4 artigos científicos internacionais, sendo primeira autora de 1. Foi bolsista de investigação no projeto MicroCoolPav desenvolvendo fibras coaxiais contendo PCM para termoregulação de pavimentos rodoviários. Atualmente, é bolsista no projeto NanoAir, que tem como objetivo desenvolver misturas asfálticas fotocatalíticas.



Cláver Pinheiro formou-se em Geografia (2007), Tecnólogo em Saneamento Ambiental (2011) pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará e em Engenharia Civil (2014) pela Universidade Federal do Ceará, Brasil. Terminou em 2022 o doutoramento em Engenharia Civil – Geotecnia na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Portugal. Desde então, esteve envolvido em 5 artigos científicos, participou de conferências e escreveu capítulos para 3 livros científicos. Atualmente é investigador pós-doutoral na Universidade do Minho, com trabalhos de investigação no estudo do uso de PCM para mitigar os efeitos da Ilha de Calor Urbano nos pavimentos.



José Monteiro licenciou-se em Ciências do Ambiente na Universidade do Minho, Portugal (2022) e encontra-se no segundo ano do Mestrado de Ciências e Tecnologias do Ambiente – Energias. Efetuou um estágio em 2021-2022 na Câmara Municipal de Braga no âmbito dos riscos de Movimentos de Vertente no Concelho de Braga. Neste momento, encontra-se a compor a sua tese de mestrado com o tema “Desenvolvimento de fibras coaxiais compostas por materiais de mudança de fase para a termoregulação de estruturas de Engenharia Civil” na Universidade do Minho.



Iran Rocha Segundo formou-se em Engenharia Civil (CE) pela Universidade Federal do Ceará, Brasil (2014) e no mestrado em CE na Universidade do Minho, Portugal (2018), onde recebeu a distinção de melhor aluno. Realizou doutoramento na mesma instituição, finalizando em 2022 com nota máxima na defesa. Com um H-index de 10 e mais de 430 citações, é coautor de 27 trabalhos indexados na plataforma Scopus. Apresentou em mais de 20 conferências internacionais, colaborando com pesquisadores e projetos internacionais. Atualmente, é investigador doutorado na Universidade do Minho, concentrando-se na funcionalização de materiais para a Engenharia Civil, principalmente misturas asfálticas, materiais cimentícios e tintas utilizando nano/micromateriais. Foi um dos mais recentes doutorados em Portugal a ser aprovado no Concurso Estímulo ao Emprego Científico Individual da FCT, ao submeter a sua proposta apenas 41 dias após a defesa do seu doutoramento.



Natália Homem formou-se em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Brasil, concluiu mestrado (2016) e doutorado (2019) na mesma instituição. Estagiou na Universidade do Minho, Portugal, com bolsa CAPES/FCT (2016 a 2017) e trabalhou como investigadora pós-doutoral, na DTx - Digital Transformation CoLab. Publicou mais de 23 artigos em revistas de alto impacto, 1 livro e 3 capítulos de livros. Esteve presente em mais de 30 conferências internacionais, recebendo três prémios de melhor apresentação oral/poster. Atualmente, gera projetos de inovação de aplicação de materiais bio baseados e reciclados para o setor automotivo na empresa Simoldes Plastics.



M. Manuela P. Silva licenciou-se em Tecnologia Química (1990) pela Universidade de Lisboa, Portugal. Realizou o doutoramento em Química Física e Analítica (1999) na Universidade do Minho e obteve a Agregação em Química em 2014 na mesma universidade. Desde o início da sua carreira académica faz parte de cerca de 200 artigos científicos, foi autora de um livro e 5 capítulos de livros e participou em mais de 21 conferências. Em 1991, após terminar a sua licenciatura, ingressou na carreira académica na universidade, como Assistente Docente da Universidade do Minho, onde é hoje investigadora e Professora Catedrática com Agregação em Química.



Helena P. Felgueiras formou-se em Engenheira Biomédica, mestrado em Biomateriais, Biomecânica e Reabilitação na Universidade do Minho, Portugal (2011) e doutorada em Engenharia Biomédica, na Université Paris 13, França (2014). Foi autora de um livro, 5 capítulos, editora de 4 livros, colaborou em 50 artigos, apresenta um H-index de 22 e fez parte de várias comunicações nacionais e internacionais. Está listada entre os “% Melhores Cientistas do Mundo” mais citados (classificação Universidade Stanford e Elsevier). Neste momento, é investigadora assistente, concentrando-se em desenvolver tratamentos para feridas crónicas com peptídeos antimicrobianos e extratos naturais, imobilizados em matrizes poliméricas biocompatíveis e biodegradáveis.



Graça M. B. Soares licenciou-se em Ciências Farmacêuticas na Universidade do Minho em Portugal, onde a levou a concluir o seu mestrado em 1993 e o doutoramento em 2000 na mesma instituição. Esteve envolvida em mais de 41 artigos, 4 capítulos do livro, apresenta um H-index de 20 e participou em conferências de diversas áreas da Ciência. Atualmente, trabalha como Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho, Portugal.



Elisabete Freitas é licenciada e doutorada em Engenharia Civil pela Universidade do Minho, Portugal, em 1998 e 2004, respetivamente. Atua também, como Investigadora e Professora Auxiliar no Departamento de Engenharia Civil desde 1998. Desde então, orientou 9 doutoramentos e 36 teses de mestrado, sendo autora de mais de 120 artigos em revistas e conferências internacionais. Integra também o conselho editorial de quatro revistas indexadas Scopus ou WoS/SCI. Sua pesquisa abrange as características superficiais de pavimentos rodoviários, com foco em novas funções e segurança rodoviária.



Manuel F. M. Costa é doutorado em Ciência Física pela Universidade do Minho (Portugal) onde trabalha desde 1985 no Departamento de Física lecionando e realizando investigação aplicada em metrologia ótica, ótica aplicada, filmes finos, nanociências e aplicações, e no ensino e literacia científica. Fez parte de mais de 400 apresentações de encontros internacionais e publicações em artigos científicos, monografias e livros. É editor e membro de conselhos editoriais de várias revistas internacionais, presidiu mais de trinta conferências internacionais, presidiendo ou fazendo parte da direção de várias sociedades e organizações científicas nacionais e internacionais.



Joaquim Alexandre O. Carneiro é doutorado em Engenharia Mecânica pela FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, assim como mestre em Físico-Química na Universidade do Minho, Portugal, onde atua como investigador e professor. Apresentou mais de 100 trabalhos científicos, 1 livro, 6 capítulos e 1 patente. Faz parte de distintos conselhos editoriais e revistas internacionais, liderou e participou em projetos nacionais e internacionais de nanotecnologia, nanoaterials, filmes finos e novos materiais aplicados à construção civil. Atualmente coordena o projeto NanoAir, que tem como principal objetivo desenvolver misturas asfálticas fotocatalíticas para a limpeza do ar. Foi coordenador do Grupo de Revestimentos Funcionais no Centro de Física da UMinho, onde desenvolve investigação na área das nanotecnologias, revestimentos funcionais, materiais fotocatalíticos, entre outros.