

## Case Report

DOI: 10.53681/c1514225187514391s.36.314

# TECNOLOGIA DE MICRO-ONDAS E NOVAS ABORDAGENS AO ENSINO SUPERIOR DE FUNDIÇÃO ARTÍSTICA. ESTUDO DE CASO NA FACULDADE DE BELAS ARTES DA UNIVERSIDADE DO PORTO.

*Microwave technology and new approaches to higher education in artistic casting. Case study at the Faculty of Fine Arts of the University of Porto.*

## RESUMO

A técnica experimental apresentada, visa simplificar as infraestruturas necessárias à criação de peças artísticas em metal. O necessário e tradicional tratamento térmico de cozedura de moldes, na fundição de metais, tem possibilidade de evolução, a partir do uso de fornos de micro-ondas convencionais.

Para explorar essa alternativa, ao nível da sua aplicação ao ensino da tecnologia da fundição, no ensino superior, foi realizado um workshop, com carácter de inovação pedagógica, na Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto, reunindo participantes de diferentes níveis de ensino e ligações ao ensino artístico.

O objetivo principal foi avaliar, em contexto real, a aplicação desta possibilidade técnica, identificando necessidades de infraestrutura e compreendendo as vantagens e desvantagens pedagógicas dessa abordagem no ensino da tecnologia de fundição de metais, em contexto de ensino/aprendizagem universitário. Neste sentido, ao estímulo à produção criativa dos participantes, associaram-se outros dados, a partir de inquéritos. Estes, permitiram registar o grau de conhecimento anterior e posterior à participação no workshop. A relação de conforto e perspicuidade na aprendizagem neste contexto. O artigo apresenta a estratégia adotada, os dados da investigação base e os resultados do workshop. Insere-se, no necessário debate sobre a atualização dos métodos de ensino e evolução da oferta de formação universitária, na procura de soluções adaptadas à realidade contemporânea, conciliando saberes tradicionais com inovações tecnológicas. Por fim, ambiciona

## ABSTRACT

Based on previous research, in which an innovative technique was developed to replace traditional heat treatments for firing moulds, applied to metal casting, with conventional microwave ovens.

With the aim of simplifying the infrastructures required to obtain artistic pieces in metal, a workshop with a pedagogical innovation character was held with several participants from different levels of higher education and links to artistic education, at the Faculty of Fine Arts of the University of Porto.

The main objectives were to analyse a real application scenario, with a survey of the workshop support needs and possible results, trying to understand the advantages and disadvantages to metal casting technology teaching/learning university context. In this sense, participants were also asked for information, through surveys, to better compare the level of knowledge before and after participating in the workshop and the relationship of comfort and perspicuity in learning in this context.

This work managed to analyze and expose a concrete strategy adapted to higher education in artistic casting. This innovation strategy has been successfully disseminated in a specific context, expanding casting training to places where such training does not normally occur. Participants reported artistic casting learning as well as interdisciplinary learning and technical research methodology, as well as motivation to use new technologies after participating in this experiment.

PACO MORENO CANDELL<sup>1</sup>

Investigação / Escrita

ORCID: 0000-0001-5275-2982

ANTÓNIO RUI FERRO MONTINHO<sup>2</sup>

Investigação / Escrita

ORCID: 0000-0001-7742-6091

<sup>1</sup> Universidade de Barcelona<sup>2</sup> Universidade do Porto**Autor Correspondente:**Paco Moreno Candell  
pamorenocan@ub.edu**Data de submissão:**  
22/01/2025**Data de aceitação:**  
29/05/2025

estimular a integração da tecnologia de fundição de metais, em ateliês de autor, mesmo com restrições técnicas, para alavancar novas investigações e desenvolvimentos.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Micro-ondas; Fundição; Ensino Superior; Escultura.

## **KEYWORDS**

Microwave; Casting; Higher education; Sculpture

## **1. INTRODUÇÃO E ESTADO DA ARTE.**

O processamento térmico de moldes para microfusão de metal, utilizando tecnologia de micro-ondas, é um método específico e inovador, desenvolvido entre 2018 a 2022, com o objetivo de simplificar os requisitos para obtenção de metal fundido (Moreno, 2022). Este foi aplicado às fases de processamento de moldes usados em joalheria: fusão das formas dos modelos em cera; cozimento ou sinterização do revestimento refratário de moldes. A hipótese principal foi a adequação da interação bipolar nos processos de secagem dos refratários húmidos, somado à compatibilidade do pequeno formato, com as cubas dos micro-ondas convencionais. A escala, tem permitido a experimentação implícita na investigação, destacando a acessibilidade e simplificação da proposta, contudo, são as vantagens das micro-ondas que tornam esta fonte de energia uma candidata ideal para um tratamento térmico sustentável e de baixo custo. A irradiação não causa combustão da cera, melhorando o manuseio, recuperação de material e controle do processo. A transmissão de calor não gera os resíduos típicos das técnicas de combustão, como CO<sub>2</sub>, CO e derivados. Estes factores podem contribuir para a ampliação da acessibilidade à tecnologia de fundição de metais, nomeadamente, no âmbito do Ensino Superior Artístico, o quanto, também, permite mitigar as restrições de espaços e equipamentos, normalmente existentes nessas instituições.

### **1.1. Funcionamento da tecnologia de micro-ondas.**

A tecnologia de micro-ondas funciona por frequência eletromagnética, interagindo molecularmente com os materiais a serem processados, produzindo neles um dinamismo molecular que é convertido em energia térmica. Isso é conhecido como aquecimento dielétrico ou dipolar (Segura e Carbaja, 2017). A interação dos materiais com as micro-ondas pode ser agrupada em três tipos de comportamento: absorvente, transparente e reflexivo. A água será absorvente, pois é formada por moléculas bipolares. Essas cargas, duas positivas por cada carga negativa, fazem com que as moléculas girem sobre si mesmas, enquanto se tentam alinhar com o campo elétrico flutuante, produzindo aquecimento quase instantaneamente (Martínez, 2015; Monzó, C. et al., 2002). Por isso, a operação de micro-ondas, tanto no processo de secagem, obtém resultados de alta qualidade, com secagem intensa e homogênea, pois o aquecimento é volumétrico, gerado dentro da amostra, quando, em outros sistemas de aquecimento, é gerado de fora para dentro, por condução de ar, o que atrasa a transmissão de energia e, conseqüentemente, torna o tratamento mais dispendioso (Valdez, 2005; Carolina, 2009; Mohankumar e Gopalakrishnan, 2019). Isto é, sem necessidade de condicionamento térmico da cavidade do forno, reduz-se tempo e energia dispendida nos processos de tratamento térmico (Jayavabushana, 2020).

### **1.2. Tecnologia micro-ondas aplicada à microfusão.**

No processamento de moldes usados na técnica de microfusão, os revestimentos refratários de

gesso requerem curvas de cozimento muito suaves, em fornos, normalmente elétricos e com alto consumo de energia (Groover, 1997; Ferreira, 1999). Isto porque estão configuradas como um bloco sólido com muita humidade. Estes moldes devem perder humidade gradualmente, para que não ocorram danos irreversíveis e se rachem (Chhillar et al., 2008). No entanto, o tratamento térmico por micro-ondas para compostos gesso revelou-se altamente eficaz (Paduchowicz et al., 2017), dependente de um estudo exaustivo dos fatores potência-tempo micro-ondas, bem como, um estudo das propriedades físico-químicas e geométricas dos modelos (Moreno et al., 2020). Este processamento será muito semelhante ao de chacota de peças cerâmicas (Moreno e Aguilar, 2024), acrescido de, primeiro, remoção da cera do modelo, que se encontra no seu interior e, posteriormente, preenchimento do espaço vazio com metal, após o molde ter sido desidratado e totalmente cozido a uma temperatura de cerca de 750°C. Tendo em conta que, o conhecimento e controlo da aplicação de micro-ondas é complexo, exigindo a gestão de várias áreas técnicas (Plaza, 2015), a sua adaptação à microfusão artística era uma descoberta.

### 1.3. Micro fundição micro-ondas à Ensino Fundição Superior Artístico.

Neste enquadramento, complexo e particular da tecnologia de micro-ondas, a sua aplicação à experiência de formação, ensino/aprendizagem no âmbito do Ensino Superior Artístico, foi o foco da investigação que, neste artigo, se esmiúça. A experiência de formação foi desenvolvida em formato workshop no âmbito da tecnologia de fundição de metais em Escultura, na Secção Científica [SCE], do Departamento de Artes Plásticas [DAP], nas instalações do Serviço Técnico e Oficinal de Modelação e Moldagem [STOMM], da Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto [FBAUP], com o título: "*Micro-ondas no processo de fundição de escultura de pequeno formato e joalheria*". A passagem de conhecimentos sobre uma técnica tradicional como a fundição de metais, a que se associam diversas dificuldades, manifestas em termos de infraestruturas específicas e gastos gerais, muitas vezes, fica dificultada e até preterida, pelas instituições de ensino. Se, por um lado, pode impossibilitar a disseminação do conhecimento, por não permitir o ensino básico, logo, a manutenção do saber e do saber-fazer; por outro, não cria terreno propício para novas investigações, por não apoiar a autonomia de questionamento dos futuros investigadores. Tendo em conta abordagens semelhantes aplicadas ao ensino, que apresentaram bons resultados (Saorin et al., 2021; Pérez et al., 2020) e, sempre tentando simplificar os requisitos para obtenção de peças em metal fundido e facilitar o entendimento dos processos associados, o sector de fundição. Na FBAUP, estará condicionado à sua realidade física, económica e de gestão, bem como, às possibilidades de comunicação com sectores estruturados de modo mais complexo ou focado, neste caso, com ligação à Universidade do Porto.

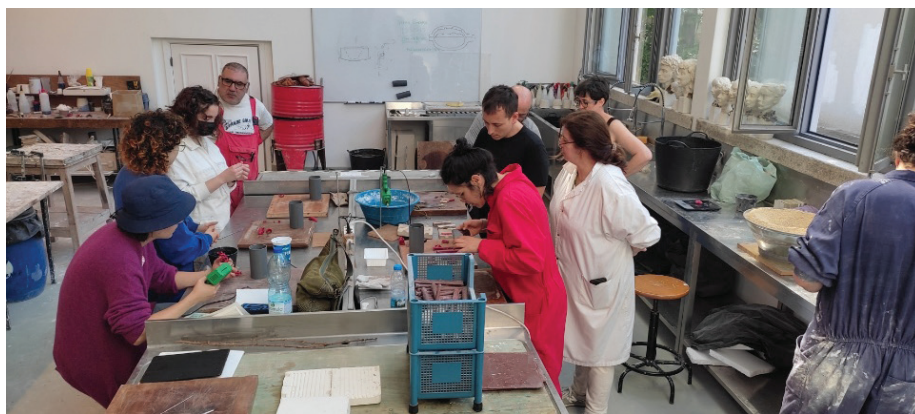
Assim sendo, o sector de fundição de metais da FBAUP caracteriza-se pelo apoio à produção de pequena escala, de atelier de autor, adaptado às necessidades da investigação dos processos criativos dos estudantes. Colocando em valor que os recursos tecnológicos promovem o crescimento individual e incentivam a colaboração e o envolvimento dos pares (Geroimenko, 2020). Neste sentido, o objectivo da investigação proposta, a partir do workshop, esteve perfeitamente alinhado com o enquadramento base institucional. Conseguir que os participantes se relacionassem com a tecnologia da fundição de metais, a partir das possibilidades da tecnologia de micro-ondas, de modo facilitado, ganhando consciência das questões de inovação tecnológica do sector, capacidade de autonomização nas investigações e possibilidades de reprodução das condições necessárias, para montagem de fundição de pequena escala em atelier artístico. No âmbito do workshop, tendo em conta o cumprimento das exigências dos modelos específicos, dependentes do processo criativo de cada participante, também se procedeu à verificação e validação, por esforço, dos dados e processamentos, patentes na investigação prévia. Já que, o aquecimento por micro-ondas, tem um funcionamento particular, diferenciado, consoante as morfologias dos modelos a aquecer (Moreno e Aguilar, 2024).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS.

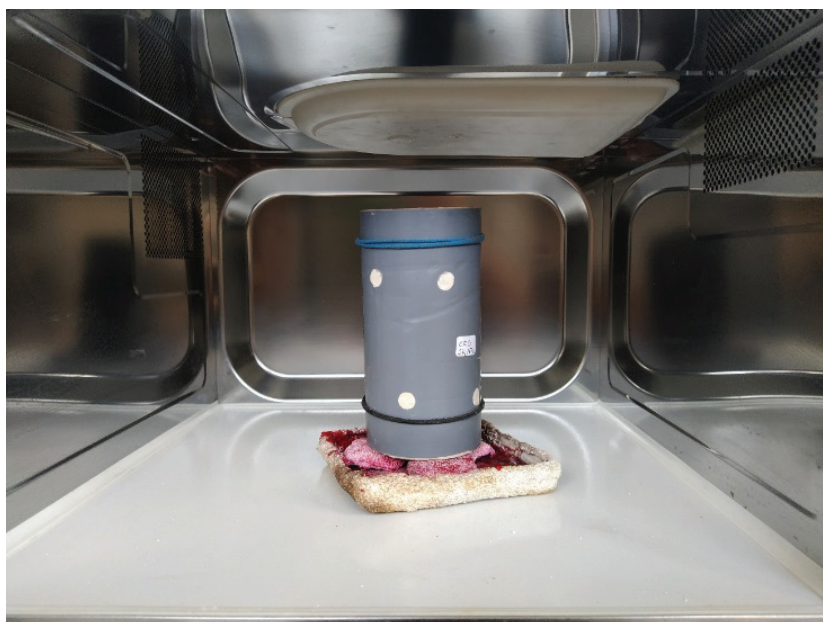
A experiência de formação programada pretendia que todos os passos processuais (tabela 1) e materiais de apoio pudessem ser colocados em perspectiva pelo grupo de participantes e não apresentados como dados adquiridos e de uso tipificado. O workshop seria uma extensão da investigação, pretendendo ceder dados para adaptação a realidades tão diversas quanto os processos criativos e condições de cada um dos participantes. Nesse sentido, em grupo, foram criadas várias mufas para micro-ondas, de diversos modelos, para o cozimento dos blocos refratários e, cadinhos para a fusão de latão, diretamente em micro-ondas, a partir de carbureto de silício e barro. Os participantes puderam testar, analisar e refletir diversos resultados, performances e falências. Puderam participar em sistemas de raciocínio que, respeitando as lógicas base das matérias e seu papel específico no processo de produção, adaptam-se e comunicam com outros sectores de produção tecnológica.w

### 2.1. Participantes

O grupo de participantes (fig.1) foi formado por estudantes da FBAUP, das Licenciaturas, aos segundos e terceiros ciclos de Ensino Superior em Artes Plásticas e Design. No total foram doze inscritos, dois dos quais finalistas da LAP, 4º ano e três de 3º ano, todos da especialidade em Escultura; uma inscrita em Mestrado em Artes Plásticas, especialidade pintura; uma inscrita em Doutoramento em Artes Plásticas, especialidade Escultura; uma estudante extraordinária da FBAUP; dois alumni, licenciados pela FAUP e pela FBAUP, tendo esta realizado curso de Fundição pelo CINFU; um Assistente Técnico do STOMMP, da FBAUP, igualmente com curso de Fundição pelo CINFU; um estudante em mobilidade Erasmus, na FBAUL.



**Fig. 1**  
Grupo de participantes no espaço de formação.



**Fig. 2**  
Molde dentro micro-ondas para fusão de cera).

## 2.2. Programação do workshop

A organização do workshop propôs, numa semana de funcionamento, dois turnos de sessões diárias, com duração total de 24 horas de formação, 6 horas de formação teórica e 18 horas de formação prática. No primeiro dia, pela manhã, deu-se oportunidade aos participantes de analisarem as questões técnicas, as matérias e as possibilidades, mediante exemplos já realizados. No segundo dia, pela manhã, teve lugar uma palestra sobre a investigação prévia. Momento de colocar densidade no tema, demonstrando de modo científico os fenómenos associados à tecnologia e às matérias utilizadas, sublinhando a relação da Investigação Académica Universitária com as práticas das Artes Plásticas. As restantes sessões matinais permitiram conversas mais focadas com as dúvidas específicas de cada participante, ao mesmo tempo que se desenvolviam processamentos práticos das diversas fases de produção.

1	Criação de modelos individuais em cera (adaptados às dimensões específicas definidas para os blocos refratários, produzidos a partir de cilindros de PVC)
2	Montagem dos modelos em “árvores” com sistema de gitagem, para posterior vazamento direto em latão, sendo o espaço disponível em cada cilindro maximizado em ocupação
3	Produção dos blocos refratários, compondo a massa a partir de gesso, farinha de sílica e água
4	Fusão e aproveitamento da cera dos blocos refratários em micro-ondas, segundo a relação potência-tempo [MW] predefinida na Investigação prévia
5	Cozimento dos blocos refratários em micro-ondas, dentro de mufla produzida segundo a investigação prévia
6	Vazamento da liga de latão nos blocos refratários resultantes do processo de tratamento térmico
7	Corte dos sistemas de gitagem e acabamento das peças fundidas em latão por limagem e polimento
8	Preenchimento de questionários

**Tab. 1**  
Ações essenciais do workshop.

### 2.3. Instrumentos de investigação

Para promover hábitos de pesquisa nos participantes, foi distribuída uma ficha técnica, para que pudessem anotar todos os procedimentos. Foram especificados diversos dados a registrar: diferenças de peso, antes e depois do início do processo de tratamento térmico, na fase de fusão da cera; tempo total para ciclo de tratamento térmico dos moldes. Ao cumprir estes registos os participantes puderam seguir de um modo mais imersivo as preocupações patentes na investigação prévia, despertando as suas competências para arquivo de dados e pesquisa, colocando-se no papel de técnico de laboratório, perante metodologia científica. Foram ainda medidos outros indicadores da qualidade e eficácia do processo de tratamento térmico dos moldes refratários, como as reações de ignição durante o vazamento de metal fundido nos moldes e a qualidade geral da superfície do produto metálico obtido. Também foi realizado questionário padronizado, para caracterizar os participantes no workshop, nomeadamente, conhecimentos prévios sobre os temas abordados, bem como, a satisfação no modo como decorreu o workshop e a aquisição de conhecimentos. O questionário era formado por oito questões, de resposta em três níveis de opção, correspondentes a: A - nenhum/a; B - algum/a; C - muito/a. Contudo, foi necessário acrescentar, para as duas primeiras questões, que caracterizavam o participante, na C - muito/a, enquanto amador e D - profissional. Em cada questão existiu espaço para desenvolvimento do sentido da resposta dada.

### 2.4. Materiais e tecnologias da experiência de formação

As cofragens para a definição dos blocos refratários utilizadas no workshop foram realizadas com cilindros de PVC. A proporção da mistura utilizada foi de 50:100 água/refratário, e este composto por gesso estuque, sílica em farinha, em proporção de 50 %. A massa foi preparada com misturador elétrico, a 20.000 rpm, sem aplicação de bomba de vácuo, com repouso de duas horas, após vazamento. O processo de tratamento térmico das moldações foi dividido em duas etapas. Primeiro, a fusão e aproveitamento da cera, usando as propriedades dielétricas das moldações com alto teor de água. Os cilindros de PVC, foram introduzidos diretamente na câmara do aparelho de micro-ondas, sobre um tabuleiro para a recolha da cera fundida (Fig.2). Segundo, o cozimento do refractário, implicando continuar com o processo de aquecimento e transformação da estrutura molecular das moldações, uma vez livres de cera e semi-secas. Os cilindros de PVC foram removidos e as moldações foram introduzidas numa mufla MW (Fig. 3), especialmente produzida para este workshop, até ser atingida a temperatura desejada (Fig. 4). Os valores recomendados para queima de água química combinada, são 750°C máxima e 600°C para injeção adequada de latão, incluídas na literatura tradicional (Benavente, 1992). Os aparelhos utilizados no processo de tratamento térmico dos seis moldes realizados no âmbito deste workshop pelos participantes, foram dois. Primeiro, trabalhou-se com um micro-ondas em cinco faixas de potência disposto de uma plataforma giratória de 220 mm, para melhorar a homogeneidade da potência irradiada. A medição da temperatura foi realizada com um sensor de infravermelhos. A fusão e aproveitamento das ceras ocorreu por períodos de 1 hora. Na segunda etapa, trabalhou-se com um aparelho de micro-ondas de maiores dimensões, permitindo conter a mufla MW no seu interior. Possuía sete faixas de potência possíveis, disposto com uma plataforma giratória de 330 mm. A medição da temperatura foi realizada com um termopar com sonda tipo (K). O tratamento térmico das moldações ocorreu por períodos de 2 horas, aplicando o estudo das curvas potência-tempo micro-ondas, desenvolvido na investigação prévia (Moreno et al., 2022). A mufla MW é um conjunto formado por tijolos refratários de baixa densidade, compostos por 67 % de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 30,05 % de SiO<sub>2</sub>, com dimensões de 230x75x115 mm, com um cilindro interior de carbureto de silício, ilustrada em (Fig. 3). Constituída por dois leitos semicilíndricos escavados no interior de cada tijolo refratário de baixa densidade, adaptados ao formato do cilindro suscepter, de cerca de 190 mm de altura e 96 mm de diâmetro e um peso total de 2.628 g, encerrou no seu núcleo as moldações,

permitindo o elevar exponencial da temperatura em segurança, em relação ao normal funcionamento do aparelho de micro-ondas (Moreno, 2022). O tijolo refractário de baixa densidade, excelente isolante térmico, é transparente às micro-ondas. Permite que estas passem através dele para o interior, ao mesmo tempo que retém a energia, promovendo a condutividade térmica às moldações. Estas, tem as suas propriedades dielétricas alteradas e a sua capacidade de aquecimento em micro-ondas diminuída, ao secarem durante o processo de tratamento térmico. O contacto com o cilindro de carbureto de silício, composto mineral que funciona como elemento eletromagnético, como susceptor, alto absorvedor de micro-ondas (Moreno et. al., 2021), com especial capacidade de absorção de energia micro-ondas a temperaturas médias e altas, de forma estável (Chhillar, 2008), permite compensar o acréscimo de temperatura.



Fig. 3  
Mufla MW.



Fig. 4  
Mufla MW, incandescência no processo de cozedura de molde refractário por micro-ondas.

**Tab. 2**  
Comparação dos processos de tratamento térmico tradicional e experimental.

<b>Processos</b>	<b>Processo térmico de moldes técnica convencional</b>	<b>Processo térmico de moldes técnica com micro-ondas</b>
Produção de cofragem para molde, envolvendo modelo em cera	Utilização de um cilindro metálico como cofragem para molde.	Utilização de um cilindro de PVC, cortado em duas metades, como cofragem para molde.
Definição da massa refractária, numa máquina de vácuo com vibração, com água entre 38 a 40%.	Tempo de secagem recomendado: de uma (1) a quatro (4) horas, dependendo do tamanho do molde.	Nesta investigação o tempo de espera situou-se entre uma (1) a duas (2) horas.
Início do processo de tratamento térmico do molde [PTTD]: Descere.	Introdução do molde em mufla elétrica Ciclo de cozedura, até 8 horas, com subidas de temperatura controladas e patamares. Normalmente a cera não é recolhida.	Introdução do molde no aparelho de micro-ondas, com um tabuleiro de recolha para a cera. Remoção do tabuleiro e da cofragem em PVC após término da fusão da cera. Introdução do molde refractário dentro de mufla MW.
Término do PTTC: Cozimento.	Manipulação nula do molde, durante as 8 horas.	Introdução da mufla no aparelho micro-ondas e definição do ciclo para PTTC.
Vazamento do metal, previamente fundido, imediatamente após o término do PTTC	Extracção do molde da mufla e vazamento do metal com apoio de bomba de vácuo ou máquina centrífuga.	Remoção da mufla do aparelho micro-ondas. Libertação do molde da mufla. Vazamento do metal fundido através do orifício do molde sem pressão adicional.
Recuperação da peça fundida, do interior do molde, após solidificação do metal (segundos).	Introdução do molde em água morna para desagregar o refractário, libertando completamente a árvore de fundição.	Introdução do molde em água morna para desagregar o refractário, libertando completamente a árvore de fundição.

**Tab. 3**  
Produção de moldes no workshop.

-Estágio 1:	Execução/secagem do molde.	2 h
-Estágio 2:	Cozimento do molde.	2 h
-Preparação de moldes:	Gesso / Sílica / Água.	300g/ 300 g / 300g
-Fundição:	Metal fundido por árvore.	322 g

### 3.RESULTADO E DISCUSSÃO

Terminada a experiência de formação, cumpriu-se o objectivo de possível verificar que ao nível das formas e volumes dos seus modelos, não existiram limitações de produção derivadas da técnica experimental testada, diferença a outras técnicas para fusão da cera, como dewax shell casting, sendo possível obter peças diversas, com diferentes complexidades de produção, determinadas pela criação idiossincrática de cada participante do workshop (Moreno et al., 2020). Foram produzidas em cera e fundidos em latão com sucesso: morangos, olhos, ovo ramificado, conchas, anéis bascos, lesmas, caracóis, cogumelos, bem como outras orgânicas, aí introduzidas diretamente, como folhas de árvores e pão seco. Entretanto, os participantes familiarizaram-se com o uso de cera de fusão, das técnicas de microfusão tradicional e processamento térmico de moldes a partir da tecnologia de micro-ondas, dados anotados (tab. 4).

<b>Moldes</b>		<b>n°1</b>	<b>n°2</b>	<b>n°3</b>	<b>n°4</b>	<b>n°5</b>	<b>n°6</b>
[Antes descerada]	Árvore cera	33 g	29 g	25 g	26 g	34 g	38 g
[Depois descerada]	Cera recuperada (g) Coleta de cera (%) recuperada (g) Coleta de cera (%)	27 g 82 %	25 g 76 %	20 g 80 %	21 g 81 %	26 g 76 %	31 g 82 %
[Início do PTTD]	Peso molde	750 g	780 g	741 g	724 g	725 g	756 g
[Término do PTTD]	Peso molde (g)	540 g	546 g	532 g	541 g	513 g	544 g
[Término do PTTD]	Perda de massa (%)	28 %	30 %	28 %	25 %	29 %	28 %

**Tab. 4**  
Dados médios registados pelos participantes do workshop.



Figs. 5-8

Ação de vazamento de metal fundido nos moldes (crédito fotográfico de Fernando Maia).

Tab. 5

Resultados percentuais obtidos nos questionários realizados aos participantes.

Questão	Respostas
1- Como descreveria o seu nível de relação com as técnicas de fundição?	B - algum/a, em cerca de 89 % das respostas (oito); C - muito/a, enquanto amador, em cerca de 11 % das respostas (uma);
2- Antes de frequentar o workshop – “Micro-ondas no processo de fundição de escultura de pequeno formato e joalheria” tinha informação sobre este cruzamento de tecnologias?	A – nenhum/a, em cerca de 55,5 % das respostas (cinco); B - algum/a, em cerca de 44,5 % das respostas (quatro);
3- Como avalia a importância dos processos de investigação académica, quer no desenvolvimento do processo criativo artístico, quer na revisão e atualização dos processos tecnológicos de fundição, neste workshop?	C - muito/a, em cerca de 100 % das respostas (nove);
4- Como avalia a sua aprendizagem sobre metodologia de pesquisa tentativa/erro e análise de resultados, neste workshop?	B - algum/a, em cerca de 44,5 % das respostas (quatro); C - muito/a, em cerca de 55,5 % das respostas (cinco);
5- Que capacidade sente ter adquirido para aplicar os conhecimentos cedidos neste workshop na sua prática artística autónoma futura de fundição de metais?	B - algum/a, em cerca de 66,7 % das respostas (seis); C - muito/a, em cerca de 33,3 % das respostas (três);
6- Sente curiosidade para realizar mais investigação para aplicação da tecnologia de Micro-ondas aos processos de produção artísticos em artes plásticas?	B - algum/a, em cerca de 44,5 % das respostas (quatro); C - muito/a, em cerca de 55,5 % das respostas (cinco);
7- Tem vontade de assistir a outros workshops sobre a tecnologia de Micro-ondas e fundição?	B - algum/a, em cerca de 33,3 % das respostas (três); C - muito/a, em cerca de 66,7 % das respostas (seis);



**Fig. 9 (Esq)**  
Modelo de cera..



**Fig. 10 (Dir)**  
Modelos de cera na árvore de cera.



**Fig. 11**  
Modelos de latão após serem cortados da fundição de metal da árvore.

A discussão a partir dos questionários realizados (tab. 5), permite compreender que existe interna e externamente à instituição, relações com um público que interliga interesse e curiosidade entre as Artes Plásticas e as tecnologias de Fundição de Metais. A segunda questão, revela o impacto da investigação prévia, da parte desenvolvida em mobilidade internacional na própria instituição, em 2020. A terceira questão, revela que o workshop foi enquadrado com todas as acções extra que permitiram analisar os resultados da investigação académica base e a sua relação directa com o processo criativo dos participantes. A quarta questão, revela o resultado da estruturação do workshop como um espaço de extensão da investigação base, já ligada a muitas certezas, mas a necessitar de afinações, principalmente na adaptação a realidades tão diversas quanto os processos criativos e condições de cada participante. Na quinta questão, revela-se a fracturante ideia de que, espaços, equipamentos e tempo de processamento associado à tecnologia, constitui uma densidade típica que não é abolível, e que, pela possibilidade de uso de um equipamento tão comum como um micro-ondas convencional, pode criar falsas expectativas. Escreveu uma participante, no espaço para desenvolvimento do sentido da resposta dada: *“A parte da fundição de metais é a que desconfio mais de ter possibilidade de executar, pois é difícil ter espaço doméstico para um forno apropriado. Já a parte do micro-ondas é mais acessível e fazível. De qualquer modo sinto mais confiança*

que é possível produzir estas “árvores” em casa e o seu molde correspondente” (participante). Na sexta questão, revela-se a compreensão do grupo de participantes para um mundo de aplicações do micro-ondas a outras áreas de produção e a necessidade de associar investigação aos processos de produção em Artes Plásticas. Escreveram dois participantes, no espaço para desenvolvimento do sentido da resposta dada: “A “domesticação” de processos de alta temperatura permitem um mais acessível estudo da fundição, vidro e cerâmica.” (participante); “parece-me um mundo novo de experimentação cheio de potencialidades... já há vários anos utilizo o micro-ondas para as minhas investigações com pão /broa” (participante). Na sétima questão, o grupo de participantes declara vontade de receber mais formação dentro da área da fundição de metais e da aplicação do micro-ondas à produção em Artes Plásticas. Demonstram, também, vontade de ultrapassar o ambiente de aprendizagem para o de experimentação mais livre o que implica a necessidade de sediar mais os espaços tecnológicos no Ensino Superior, para também poderem dar resposta a esses processos de investigação. Na oitava questão, o grupo de participantes teceu críticas, principalmente, ao equipamento disponível, sentindo, a necessidade de acesso a vários aparelhos de micro-ondas, para que os resultados pudessem ser mais cadenciados. Os participantes escreveram, no espaço para desenvolvimento do sentido da resposta dada: “Ter mais materiais (máquinas) ajudaria a agilizar, de qualquer modo funcionou muito bem começar com a parte técnica para entender os procedimentos, antes da componente teórica. Saio daqui com satisfação.” (participante); conforme referido anteriormente, esta resposta comprova que, os modelos apresentados pelos participantes, apesar de formalmente muito diversos, foram todos conquistados e com bons resultados, recorrendo à técnica de processo de tratamento térmico de moldes de fundição, segundo a Investigação académica prévia. Por outro lado, com a sua organização ampla, cumpriu-se o objectivo de destacar a importância da investigação académica, no contexto universitário, aplicada às tecnologias das Artes Plásticas.



**Figs. 12**

Comparação do modelo de árvore de cera vermelha e modelo de árvore de latão fundido. Ampliação do modelo X1 em cera vermelha e peça em latão. Produção a cargo dos participantes Fernando Maia (crédito fotográfico) e Ana Paula Rodrigues.

Compreende-se que a técnica experimental utilizada, permitiu dar bom suporte ao processo de ensino/aprendizagem da fundição artística, em contexto universitário. Os participantes sentiram motivação para a aprendizagem prática e teórica, no âmbito específico do workshop, sintetizando os fundamentos básicos da tecnologia da fundição de metais. Demonstra,

claramente, que o ensino da tecnologia da fundição não estará dependente de oficinas especializadas e de infraestruturas complexas. Permitindo antever, enormes vantagens na implementação de pequenas unidades oficinais, com características baseadas na ensaiada neste workshop, de onde resultará mais rápida difusão do conhecimento e menor impacto económico e ambiental. Objetivo traçado desde o início da investigação.

Adicionalmente, e a partir das reflexões produzidas ao longo do processo, a conceção da aprendizagem mediada pela tecnologia, entendida como instrumento de investigação criativa e de exploração, revelou-se determinante, não só para a mobilização e o envolvimento dos participantes, como também, para a constituição de novos espaços de pensamento crítico. Cenários de construção coletiva do saber, suportados por linguagens partilhadas e colaborativas. Os resultados obtidos, suscitam uma reflexão crítica, acerca das potencialidades inerentes à integração da tecnologia no ensino e na produção de conhecimento artísticos, nomeadamente, no que respeita ao seu desenvolvimento a nível do ensino universitário.

## 4. CONCLUSÕES

Tendo em conta que, os recursos necessários à fundição de metais são muito especializados, por vezes, de custo elevado e de difícil acesso. Acrescido de as normas de segurança ligadas às oficinas de apoio às práticas de fundição de metais e seus equipamentos, são cada vez mais restritas. A possibilidade de redução das infra-estruturas, será um atrativo para voltar a impulsionar a formação em tecnologias e das disciplinas que se lhe associam, no âmbito das Artes Plásticas, do Ensino Superior, ligando-as de novo ao livre questionamento e evolução criativa. Isto sublinha, a necessidade de promoção de investigação como a que se apresenta. A experiência de formação, ainda demonstrou que, a inclusão da tecnologia de micro-ondas, tem a vantagem de redução de consumo energético, emissão de gases, economizando tempos de produção, o que contribui directamente para a agenda dos ODS 2030. O facto de o processo de tratamento térmico dos moldes de fundição acontecer num período mais curto, permite maior ritmo nos questionamentos associados à formação, permitindo que, os participantes estejam presentes durante todas as acções, controlando melhor as transformações ocorridas nos moldes, das quais depende um correcto cozimento, para suportar o vazamento do metal fundido.

A partir dos questionários realizados, compreende-se que os participantes acolhem com motivação a implementação de novos métodos de ensino/aprendizagem, baseados na exploração de técnicas mais intuitivas e inclusivas, para facilitar a tradução da tecnologia, sua actualização e democratização. Destacando a técnica realizada, pelo quanto melhora a autonomia do individuo, inerindo-o num ensino transversal, realidade necessária na investigação do Ensino Superior Artístico e no âmbito profissional.

Como trabalho futuro, perseverando na necessidade de manutenção de saberes e saberes fazer ligados à tecnologia da fundição de metais e sua integração no ensino superior artístico actual, para evolução livre, consciente e tecnologicamente atualizada, das novas gerações, propomos a integração da tecnologia de micro-ondas, para processo de tratamento térmico de moldes para fundição de metais, no apoio à produção de elementos fundidos, em ambiente universitário.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade e ao Porto por expor o cenário de análise e divulgação. Este estudo apresenta o resultado da aplicação da pesquisa financiada pelo Programa de Bolsas de PosDoutorado de Curta Duração Erasmus Fulbright 2022-2023 do Ministério das Universidades, com o centro receptor Universidade de La Laguna.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benavente, J. (1992). La fundición a la cera perdida: Microfusión, Barcelona: ALSINA.
- Carolina, C. (2009). Las microondas como una alternativa para el secado de materiales cerámicos tradicionales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, pp. 428-431.
- Chhillar, P. D. Agrawal and J. H. Adair. (2008). Sintering of Molybdenum metal powder using microwave energy. *Powder Metallurgy*, vol. 51, n° 2, pp. 182-187.
- Groover, M. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna*. México, p. 243.
- Geroimenko, V. (2020). *Augmented Reality in Education: a New Technology for Teaching and Learning*. Cairo: Faculty of Informatics and Computer Science. ISBN: 978-3-030-42155-7. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4>.
- Ferreira, José, M. G. de Carvalho. (1999). *Tecnologia da Fundição*, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, ISBN 9789723108378.
- Jayavabushana, Shashank K. & Venkatesh. (2020). Analysis of microwave dewaxing and its advantages over conventional autoclave dewaxing. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, vol. 07, p. 1668.
- Monzó C., Catalá, JM, Díaz, A. Sánchez, D. Plaza, P and De los Reyes, E. (2002). A Three-Stage Microwave-Assisted Drying Model Based on the Dielectric Properties of Laminar Materials: Theoretical Development and Validation. *Microwave and Optical Technology Letters*, vol 32(6), pp. 465-469
- Mohankumar and Gopalakrishnan, P. (2019). *Boletín Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 58[1] 14-22.
- Moreno Candel, F. (2022) *Procesado térmico de moldes refractarios para fundición artística mediante tecnología microondas*. Universidad de La Laguna.
- Moreno Candel, F. and Aguilar Galea, J A. (2024). Microwave fast drying and sintering complex morphology of porcelain and gres chamotte 0.5. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 25, No. 3, pp. 465~473 (2024)
- Moreno Candel, F; Pérez Conesa, I; Acosta Hernández, F y Aguilar Galea, J A. (2020). Comportamiento de ceras utilizadas en la microfusión, tras su calentamiento por microondas: técnica de la cascarilla cerámica. *Tecnica Industrial*.
- Paduchowicz, P; Stachowicz, M and Granat. K. (2017). Effect of Microwave Heating on Moulding Sand Properties with Gypsum Binder. *Archives of Foundry Engineering* 17(3). DOI: 10.1515/afe-2017-0098 License CC BY-NC-ND 4.0
- Pérez Conesa, I; Fayos Fernández, J; Aguilar Galea, JA; Monzó Cabrera, J (2022) Evaluation of graphite and TiO<sub>2</sub> as susceptors for microwave dewaxing in ceramic shell casting processes of artworks *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 56 (3), 201-215
- Martinez, B. (2015). *Desarrollo de materiales cerámicos avanzados con altas prestaciones mediante técnicas no convencionales de sinterización: microondas*. [Tese de doutoramento]. Universidad Politécnica de Valencia.

Moreno, F. (2022). *Procesado térmico de moldes refractarios para fundición artística mediante tecnología microondas*. [Tese de doutoramento]. Universidad de La Laguna.

Moreno Candel, F; Pérez Conesa, I; Acosta Hernández, F y Aguilar Galea, J A. (2022). *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 42 (1): 68-82. [https://Doi: 10.5281/zenodo.7213672](https://doi.org/10.5281/zenodo.7213672)

Moreno, F; Perez, I; Acosta, F & Aguilar, J. A. (2021). Procesado térmico de moldes confeccionados con revestimiento de joyería mediante microondas por calentamiento híbrido. *Journal Revista de Bellas Artes ULL*. University of La Laguna.

Moreno, F. & Aguilar Galea, J. A. (2024). Microwave fast drying and sintering complex morphology of porcelain and gres chamotte 0.5. *Materials Science and Engineering* v.25 no.3. pp.465 – 473. [10.36410/jcpr.2024.25.3.465](https://doi.org/10.36410/jcpr.2024.25.3.465)

Saorin, J.L. Diaz Alemán, M.D. De La Torre Cantero, J. Meier, C. Pérez Conesa, I.(2021). Design and validation of an open source 3D printer based on digital ultraviolet light processing (DLP), for the improvement of traditional artistic casting techniques for microsculptures. *Applied Sciences (Switzerland)* 11 7 ISSN: 2076-3417

Segura J, Y. and Carbaja, G. (2017). The use of microwave radiation for nanoparticle synthesis. *Journal of systematic Innovation*, vol. 1, n° 2, pp. 46-56.

Pérez Conesa, I; Díaz Alemán, M. D and Meier, C. (2020). Implementación del proyecto de innovación docente: “Lost PLA Castings; Las tecnologías 3D en los procesos de Fundición Artística con cascarilla cerámica”

Plaza, P. (2015). Temperature control in microwave heating systems. Doctoral thesis, Polytechnic University of Valencia.

Valdez Nava, Z. (2005). Sintering of Ni Fe manganites using microwaves as an energy source. Autonomous University of Nuevo Leon.

## NOTAS SOBRE OS AUTORES

### Paco Moreno Candel

Professor e pesquisador do Departamento de Escultura da Universidade de Barcelona desde 2023. Grupos de pesquisa: Design e Manufatura Digital, Universidade de La Laguna. Prêmio Extraordinário de Doutorado 2022. Atualmente desenvolve pesquisas em torno da criação artística multidisciplinar contemporânea, partindo da criação escultórica. Participou de inúmeras exposições de arte desde 2015 onde recebeu o primeiro prêmio por 4 ocasiões.

### António Rui Ferro Moutinho

Membro colaborador do Instituto de Investigação em Arte, Design e Sociedade [I2ADS]. Professor Doutor em Arte e Design, pela UP, com a Dissertação *Moldes de uma Identidade – Análise Prática e Conceptual de um Processo Criativo*, com orientação do Professor Doutor Hélder Gomes. Desde 2017, exerce funções de docente, na categoria de Professor Auxiliar, na Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto, às seguintes Unidades Curriculares, do Curso de Licenciatura em Artes Plásticas: Artes Plástica; Modelação e Moldagem; Práticas da Modelação; Moldagem e Fundição [regência das três últimas]. Desde 2021, Coordenação do Serviço Técnico e Oficinal de Modelação e Moldagem, da FBAUP.

#### Reference According to APA Style, 7th edition:

Candel, P., Montinho, A., (2025) Tecnologia de micro-ondas e novas abordagens ao ensino superior de fundição artística. Estudo de caso na faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto. *Convergências - Revista de Investigação e Ensino das Artes*, VOL XVIII (36), 107-122. <https://doi.org/10.53681/c1514225187514391s.36.314>