

9^o CONGRESSO DA INDÚSTRIA CERÂMICA DE REVESTIMENTO



22, 23 e 24 | Outubro | 2024

Santa Gertrudes / SP

O POTENTIAL DOS COMBUSTIVEIS ALTERNATIVOS NA INDÚSTRIA CERÂMICA. ESTADO DA ARTE



Dr. Eliseo Monfort
Catedrático de Engenharia Química (UJI)



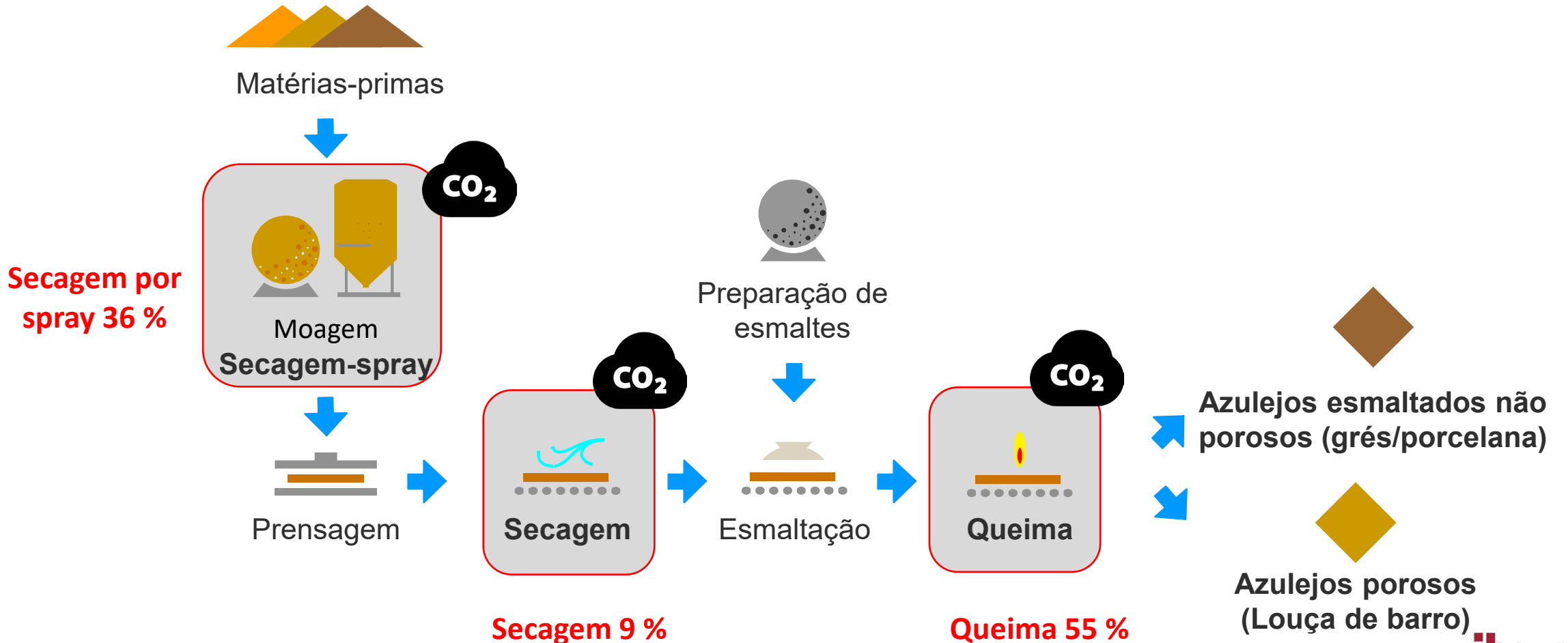
GAIA- Grupo de ingeniería ambiental y
energética aplicada a procesos
industriales

A photograph of a wall covered in white square ceramic tiles with light blue grout. A green vine with small, rounded leaves is draped across the left side of the frame. A semi-transparent white banner is positioned horizontally across the lower middle of the image, containing the text 'Azulejos de cerâmica' in a bold, black, sans-serif font.

Azulejos de cerâmica

Situação atual

Processo de fabricação e etapas com emissões de CO2



Descarbonização do setor de revestimentos cerâmicos

Guía de tecnologías hipocarbónicas para la industria de baldosas cerámicas *Guide to low carbon technologies for the ceramic tile industry*

https://www.itc.uji.es/guia_hipocarbonica/

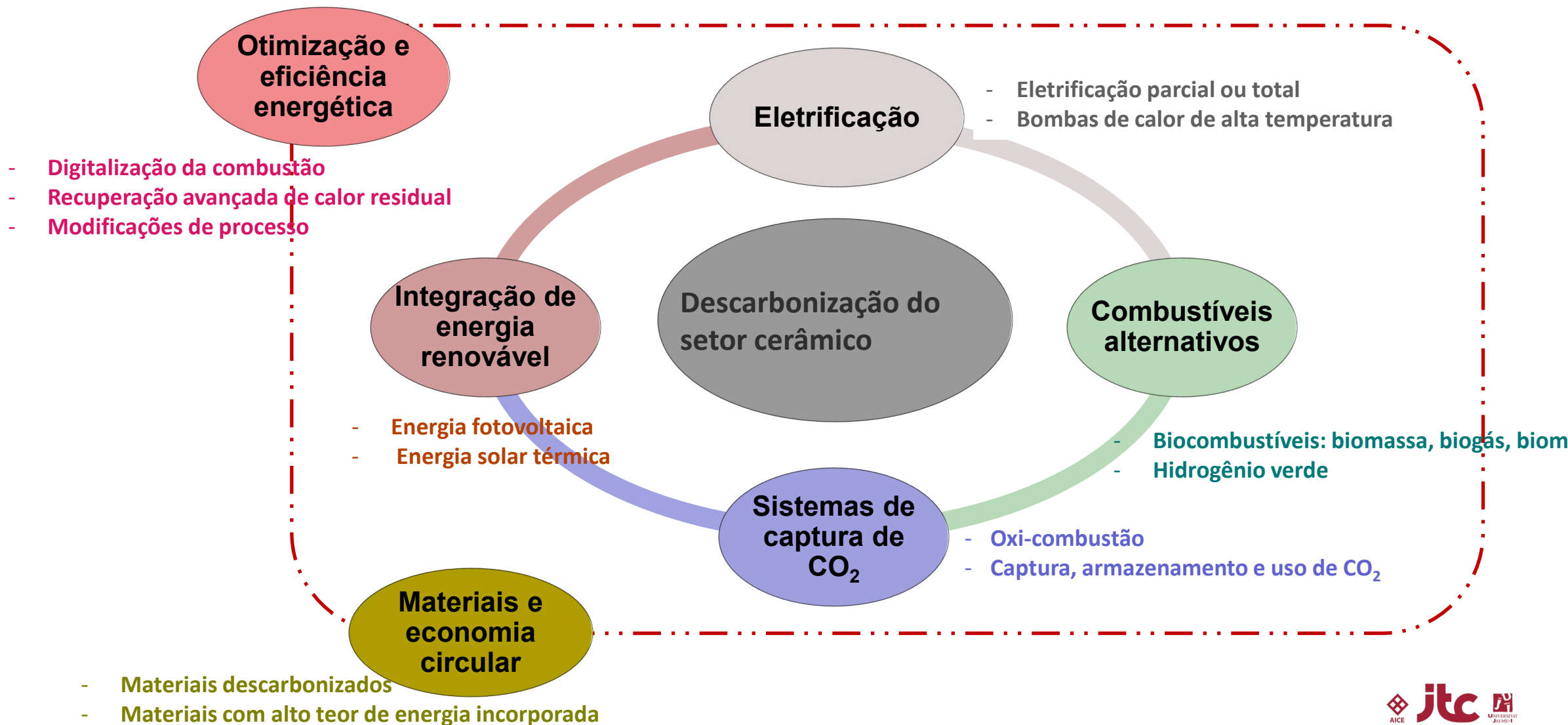


Conteúdo

- *Resumo executivo*
- *Análise da situação.*
- *Estrutura jurídica europeia.*
- *Metas de redução de emissões de CO2.*
- *Diagnóstico do cenário tecnológico atual. Descrição dos principais consumidores de energia térmica e emissores de CO2.*
- *Pesquisa setorial e estudo Delphi de um painel de especialistas. Visão dos representantes do setor com relação à transição energética e tecnológica.*
- *Análise das tecnologias de descarbonização potencialmente aplicáveis ao processo de fabricação de revestimentos cerâmicos.*
- *Desafios não tecnológicos da descarbonização.*
- *Visão 2030*

Estratégia de descarbonização

Descarbonização do setor de revestimentos cerâmicos





Algumas mensagens para levar para casa

- ✓ **Prioridade:** Eficiência>Renováveis>Eletrificação>Combustíveis alternativos> Captura de CO₂
- ✓ A redução de emissões necessária só será possível com **tecnologias revolucionárias**.
- ✓ A maioria das **tecnologias de descarbonização não está madura o suficiente**.
- ✓ **Os projetos de demonstração** para as diferentes tecnologias são considerados essenciais.
- ✓ **Ações colaborativas** entre as partes interessadas devem ser incentivadas
- ✓ O desenvolvimento de **P&D em 2022-2030 será vital** para a sobrevivência

PLANTA PILOTO DE TECNOLOGIAS HIPOCARBÔNICAS



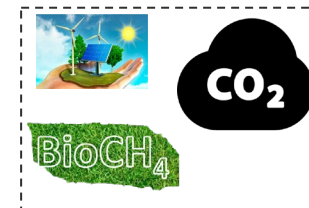
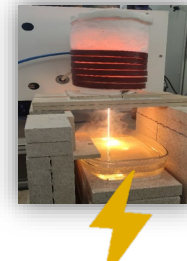
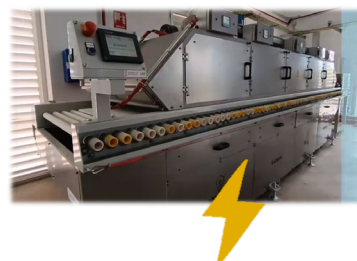
Projetos demonstrativos para a descarbonização do setor de revestimentos cerâmicos



$S = 1\,100\text{ m}^2$

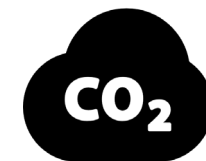


$PV \approx 67\text{ kWp}$





Captura de CO₂



A técnica de captura mais favorável que poderia ser aplicada ao setor de cerâmica é a pós-combustão.

Indústria de revestimentos cerâmicos

CO₂ diluído, alto fluxo e praticamente à pressão atmosférica

Parâmetros	Atomizador	Secador	Forno
Temperatura (°C)	90-115	90-120	180-200
Fluxo volumétrico (Nm ³ /h)	70 000	7 000	15 000
Conteúdo de CO ₂ (%)	1.0 – 2.0	1.0 – 2.0	3.0 – 5.0



BioCH₄

Biocombustíveis



Tecnologias horizontais de descarbonização

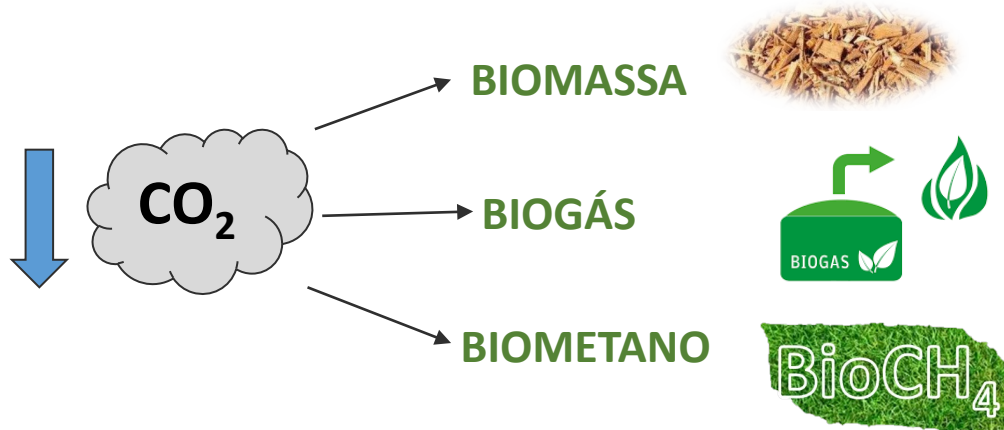
Possibilidades de uso de **gás renovável** na fabricação de revestimentos cerâmicos



São combustíveis de origem renovável, como biomassa, biogás ou biometano

Principais obstáculos?

Biomassa	<ul style="list-style-type: none">• Combustão direta: limitada à secagem por pulverização e à secagem (produtos não esmaltados)• Combustão indireta: eficiência reduzida
Biogás	<ul style="list-style-type: none">• Poder calorífico do biogás muito inferior ao do GN + Impurezas → Limitado a produtos não vitrificados• Não é intercambiável com o GN
Biometano	<ul style="list-style-type: none">• Sem barreiras técnicas• A melhor opção técnica



Seu uso depende principalmente de **ações exógenas**

H₂



Hidrogênio verde

[Esta foto de Avião descolou](#) está bajo licencia [CC BY-NC-ND](#)

Tecnologias horizontais de descarbonização

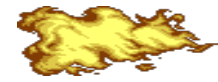
Uso do **hidrogênio** como combustível para geração de calor. Combustão de hidrogênio



Parâmetros	H ₂	Gas Natural
Lower Heating Value (kWh/Nm ³)	3.00	10.617
Density (kg/Nm ₃)	0,0899	0,72
Adiabatic flame temperature (°C)	2 045	1 915
Flame speed (m/s)	270	35
Specific emission (kg CO ₂ /kWh)	0	0.202

- **Geração:** Alto consumo de eletricidade (eletrólise 5 kWh/m³_N)
- **Distribuição:** Limitação de corrente dos gasodutos (**5-10%**) (em volume)
- **Utilização:**

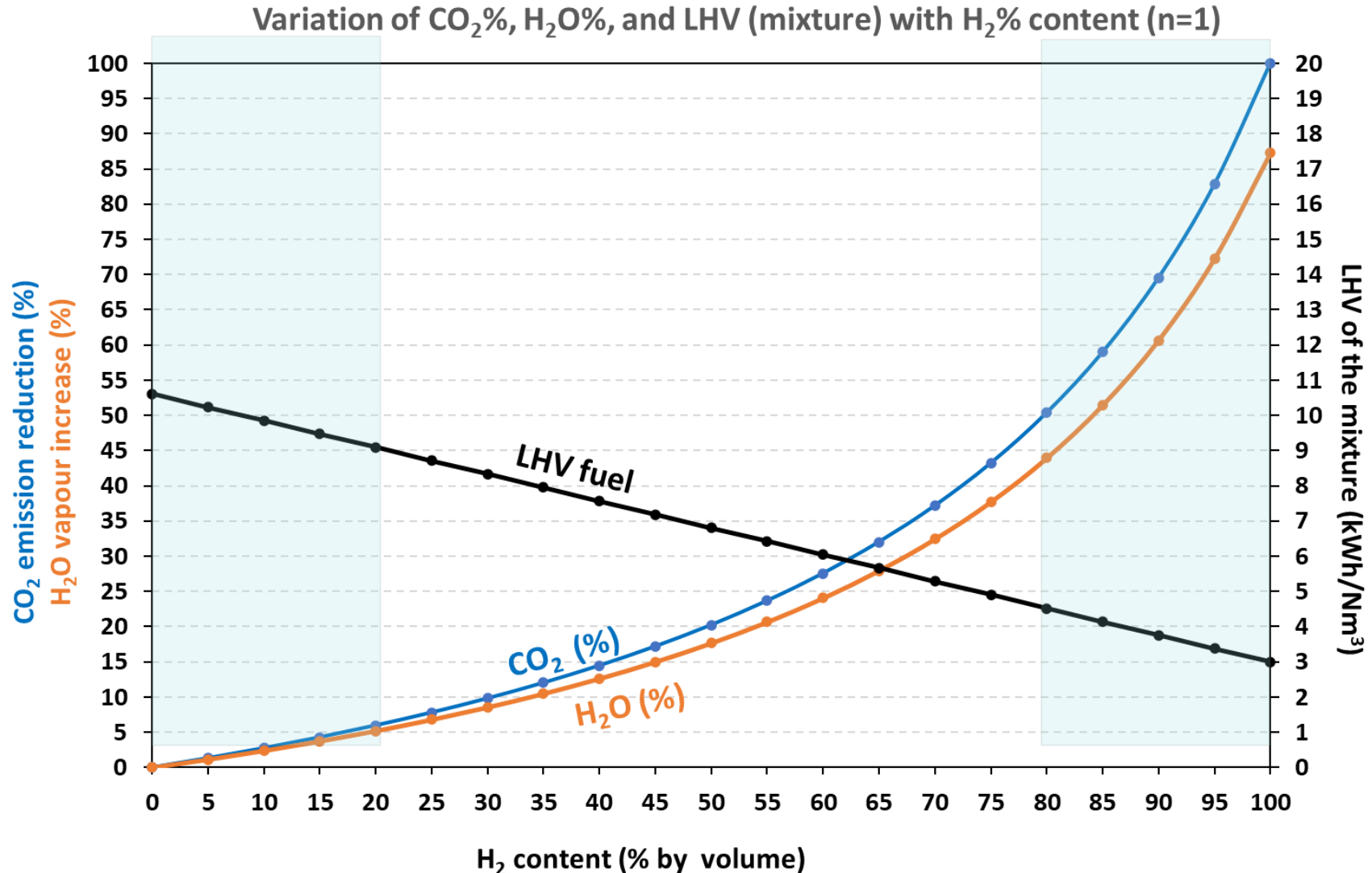
- Intercambialidade de misturas H₂-GN de até 15-20% (vol.)
- Altos teores de H₂: velocidade e invisibilidade da chama
- Aumento da quantidade de H₂O e NO_x nos gases de combustão



Principais limitações

Tecnologias horizontais de descarbonização

Uso do hidrogênio como combustível para geração de calor. Combustão



Baukal, C. E., 2004. *Industrial Combustion Pollution and Control*.

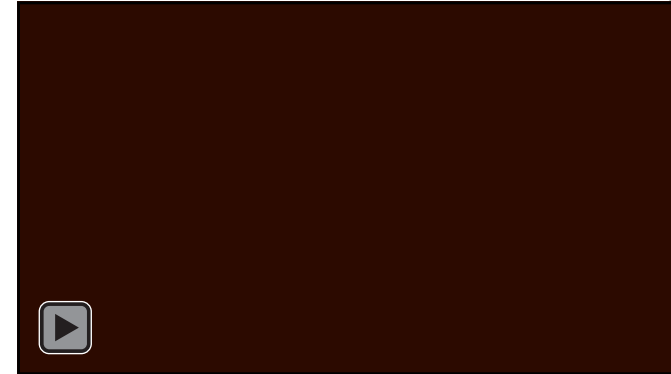
Tecnologias horizontais de Uso do **hidrogênio** como combustível para geração de calor. Combustão **descarbonização**



Combustão de hidrogênio na queima de azulejos de cerâmica



Câmara de combustão operacional com hidrogênio puro (100 % H₂)



Chama de combustão : 70% H₂



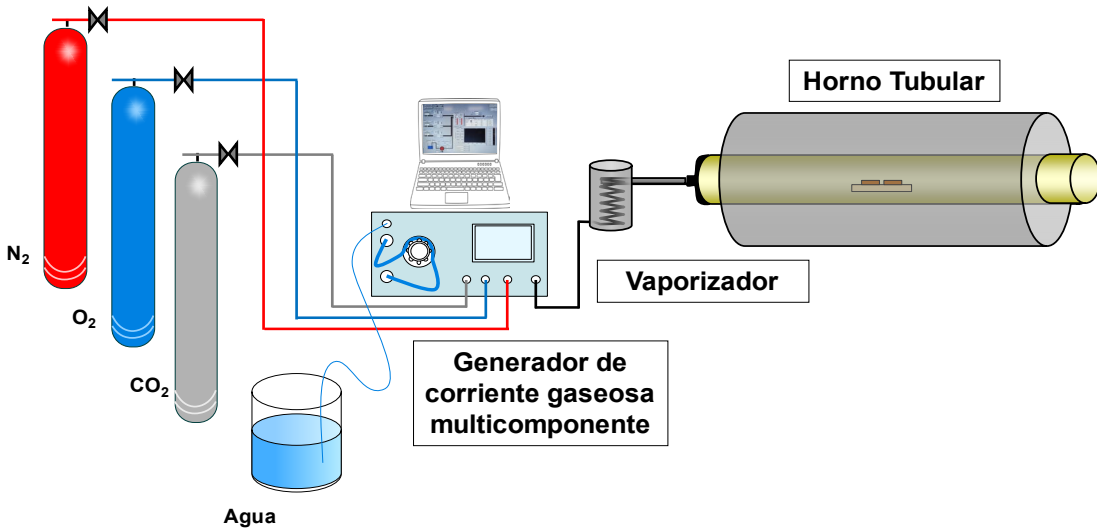
Chama de combustão : 100% H₂

Tecnologias horizontais de descarbonização

Uso de **hidrogênio como combustível** para geração de calor.
Impacto no setor de revestimentos cerâmicos



Configuração experimental.



Gases do forno (% vol)	10% H ₂ O	30% H ₂ O	50% H ₂ O
O ₂	10	10	10
CO ₂	10	10	10
N ₂	70	50	30
H ₂ O	10	30	50

Testes de materiais: Composições corporais e esmaltes

Quereda et al., 2024. Qualicer.

Projecto Hidroker



Tecnologias horizontais de descarbonização

Uso de **hidrogênio como combustível** para geração de calor.

Impacto no setor de revestimentos cerâmicos

Composição do corpo em grés de queima vermelha

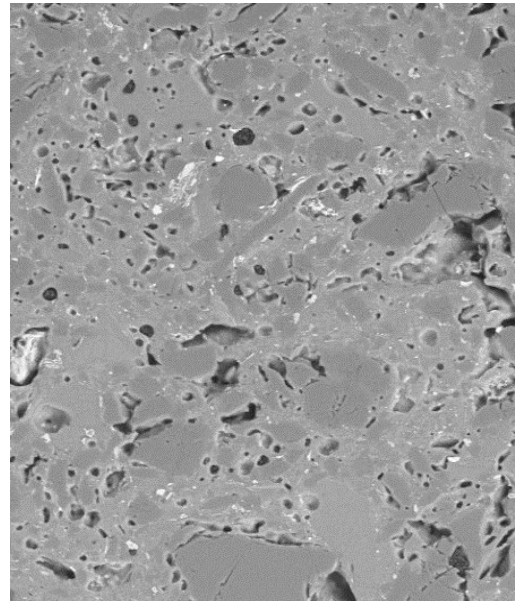
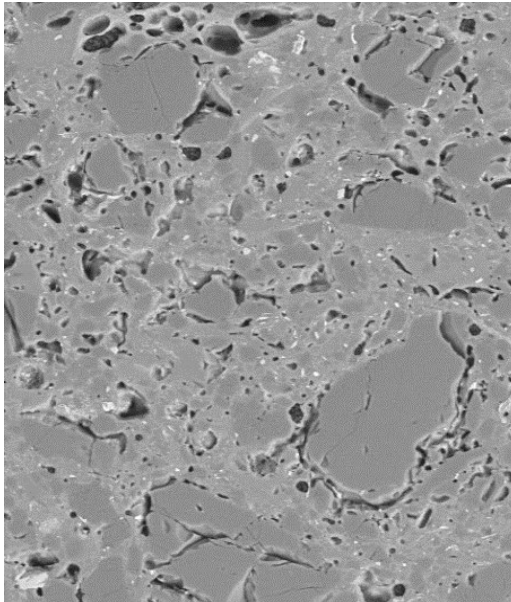


10% H₂O

50% H₂O

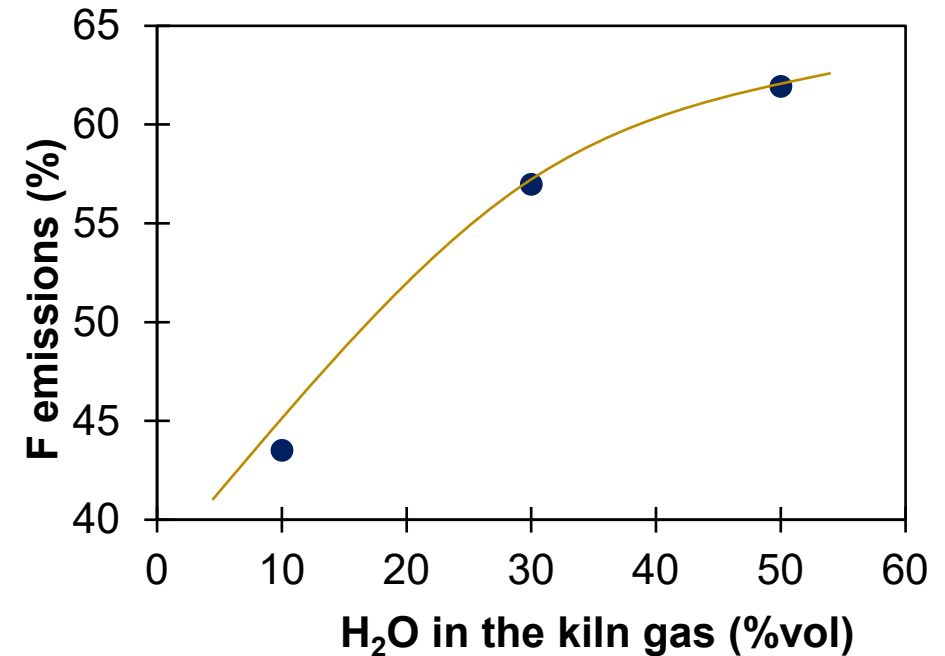
T=1150°C → WA=3.6%

T=1150°C → WA=1.8%



100μm

O pico de T pode ser reduzido em cerca de 20°C (Redução de energia: 1-2%)



Aumento das emissões de F (+20%)

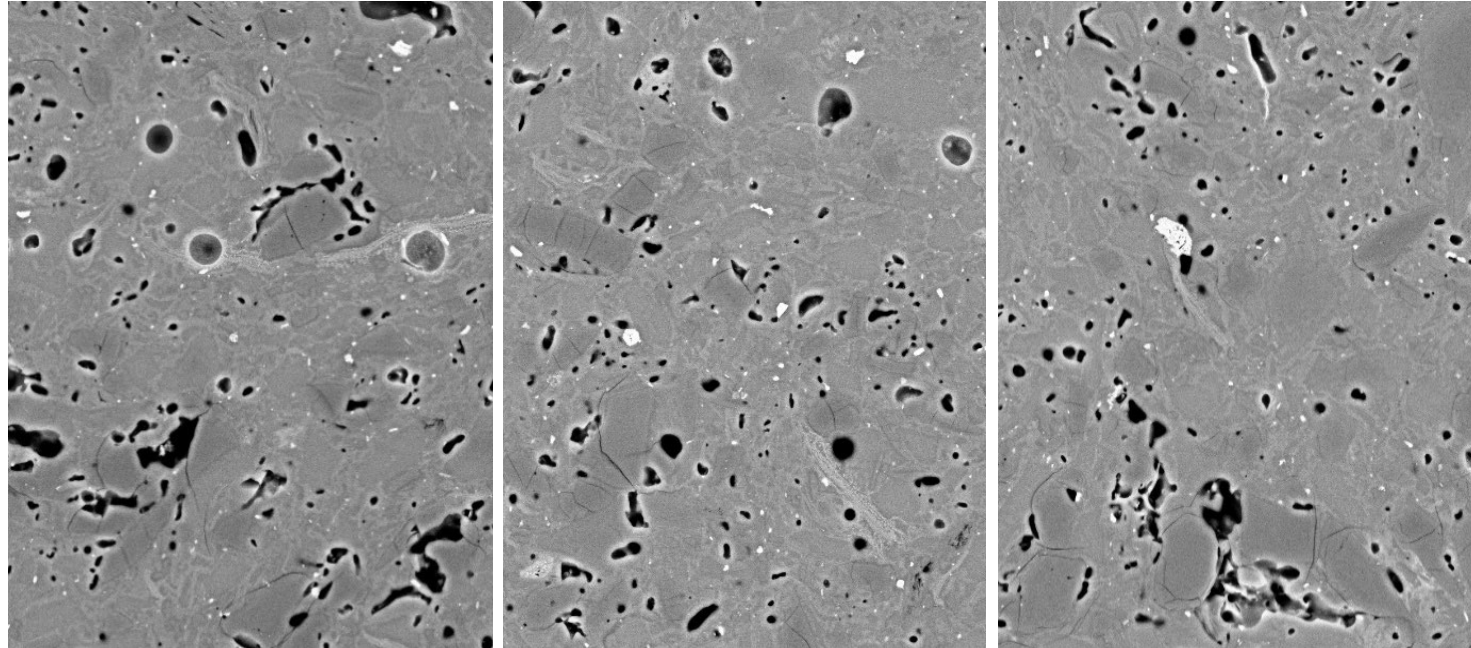


Composição do corpo do porcelanato

1183°C - 10%H₂O

1175°C - 30%H₂O

1170°C - 50%H₂O



50 μm

Absorção de água < 0,1% (densidade aparente $\approx 2,375 \pm 0,005 \text{ g/cm}^3$)

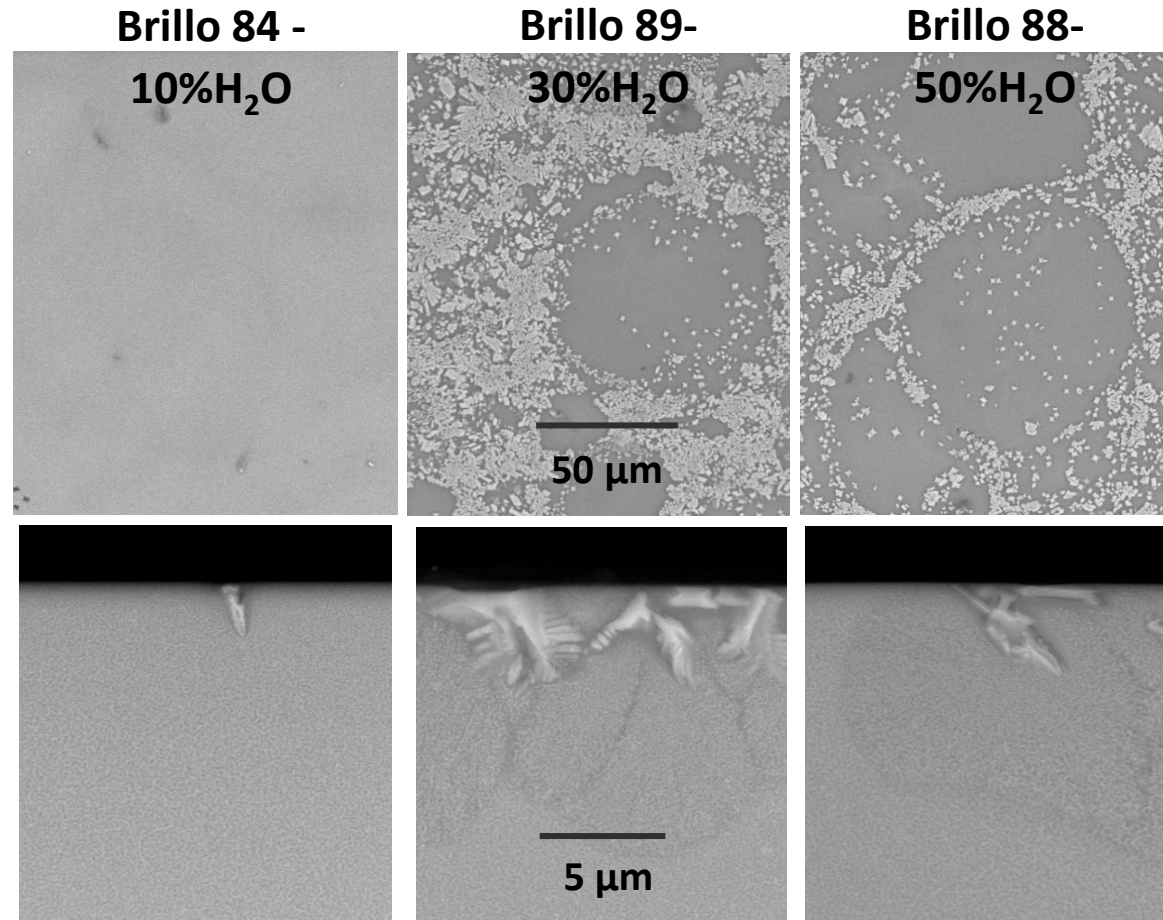
O pico T pode ser reduzido em torno de 13°C

Tecnologias horizontais de descarbonização

Uso de **hidrogênio como combustível** para geração de calor.
Impacto no setor de revestimentos cerâmicos



Esmalte transparente para azulejos de barro



Foram observadas mudanças significativas



Conclusões



- **Corpos**
 - **Corpos de grés e grés porcelânico de queima vermelha (não porosos):** o aumento da pressão parcial do vapor de água facilita a sinterização → a temperatura ideal de queima diminui.
 - **Corpos de faiança de queima vermelha (porosos):** não foram observadas alterações significativas
 - **O aumento do vapor de água pode causar alterações nas emissões:** foi medido um aumento na emissão de flúor.
- **Esmaltes**
 - **Esmaltes transparentes e opacos:** alterações na viscosidade da fase vítrea modificam a proporção das fases vítrea e cristalina e o brilho desses esmaltes.
 - **Esmaltes foscos:** não foram observadas alterações significativas.



Eletrificação

[Esta foto](#) de Autor desconocido está bajo licencia [CC BY](#)

Tecnologias horizontais de descarbonização Possibilidades de eletrificação no setor de cerâmica



Secador infravermelho para produtos cerâmicos



Tecnologias horizontais de descarbonização

Possibilidades de **eletrificação** no setor de cerâmica

Fornos elétricos de rolos



Forno elétricos de rolos– 220 kW – 15m



Resumo do estado da arte

Tecnologias horizontais de descarbonização

Resumo do TRL das tecnologias de descarbonização

Tecnologia geral	Tecnologia específica	TRL em revestimentos cerâmicos
Integração de energias renováveis	Painéis solares fotovoltaicos	Tecnologia madura Limitada ao consumo elétrico
	Energia solar térmica	Maduro, mas muito limitado para revestimentos cerâmicos Limitações: requisitos técnicos, econômicos e de espaço

Tecnologias horizontais de descarbonização

Resumo do TRL das tecnologias de descarbonização

Tecnologia geral	Tecnologia específica	TRL em revestimentos cerâmicos
Uso de biocombustíveis	Biomassa	Tecnologia madura, mas limitada Limitada à secagem por pulverização/secagem (não vitrificada)
	Biogás	Tecnologia madura, mas limitada Limitada pela qualidade (não esmaltada) e disponibilidade
	Biometano	Tecnologia madura. Integrada à rede de GN. Limitada pela disponibilidade
Captura CO ₂	A ser definido	Não é maduro o suficiente São necessários demonstradores

Tecnologia geral	Tecnologia específica	TRL em revestimentos cerâmicos
Hidrogênio verde	Blending-Mistura	<p>Tecnologia madura para baixos teores de H₂</p> <p>Não há mudanças tecnológicas importantes (hardware)</p> <p>Limitações: Baixa redução de GEE, disponibilidade e custo</p>
	Hidrogênio puro	<p>Não está maduro o suficiente para altos teores de H₂</p> <p>Limitado por tecnologia, disponibilidade e prêmio</p> <p>Mas com forte impulso institucional e financeiro</p>

Tecnologias horizontais de descarbonização

General technology	Tecnologia específica	TRL em revestimentos cerâmicos
Electrificação	Bombas de calor- Secagem	Não está maduro o suficiente Limitado pela T máxima
	Microondas – Secagem	Não está maduro o suficiente Alguns problemas técnicos devem ser resolvidos
	Infravermelho – Secagem	Em desenvolvimento –Planta piloto Alguns problemas técnicos devem ser resolvidos
	Resistências - Secagem	Tecnologia madura para revestimentos cerâmicos Limitada pelo custo e pelo fornecimento de secador e energia
	Resistências - Queima	Tecnologia madura para revestimentos cerâmicos Limitada pelo custo e pelo fornecimento de fornos e energia

Tecnologias horizontais de descarbonização do setor europeu de revestimentos cerâmicos

Lista de iniciativas de descarbonização publicadas e anunciadas (não exaustiva) Período: 2022-24

Tecnologia - Palco	Empresa	País	TRL	Fonte
Moagem a seco + microgranulação	LB OM SpA	Itália	Industrial	Qualicer 24
	Granulation Syst. S.L.	Espanha	Industrial	Qualicer 24
Hidrogênio - Secagem por spray	eCombustible Energy-Pamesa	Espanha	Industrial	Comunicado à imprensa, 2023
Eletrificação por R-Secagem	Primus Ceramics -SACMI	Portugal	Industrial	Comunicado à imprensa, 2024
Hidrogênio - Queima	Iris Ceramiche Group	Itália	Industrial	Qualicer 22
	SACMI	Itália	Planta piloto	Comunicado à imprensa, 2024
Eletrificação por R-Firing	Nanetti, s.r.l.	Itália	Industrial	Informe ASCER, 2022
	Kerajet	Espanha	Industrial	Qualicer 22
	Systemfoc-Equipe	Espanha	Industrial	ITC, 2024 Comunicado à imprensa, 2024

Tecnologías horizontales de descarbonización

Uso do **hidrogênio** como combustível para geração de calor.
Fornecimento de **hidrogênio verde**



Proyectos de H₂ en el sector cerámico

Planta de 8 MW de potencia. Inversión: 15 M€



PAMESA
GRUPO EMPRESARIAL



Fuente: <https://www.pamesagrupoempresarial.com/pamesa-y-ecombustible-lideran-la-transicion-energetica-verde/>

Tecnologias horizontais de **descarbonização** Uso do **hidrogênio** como combustível para geração de calor.



Iris Ceramica Group



3,2 m x 1.6 m x 12 mm

Maio de 2024: 120 kW (2 eletrolisadores) → 20 Nm³/h H₂ → Mistura de forno com al 7% H₂ em vol.

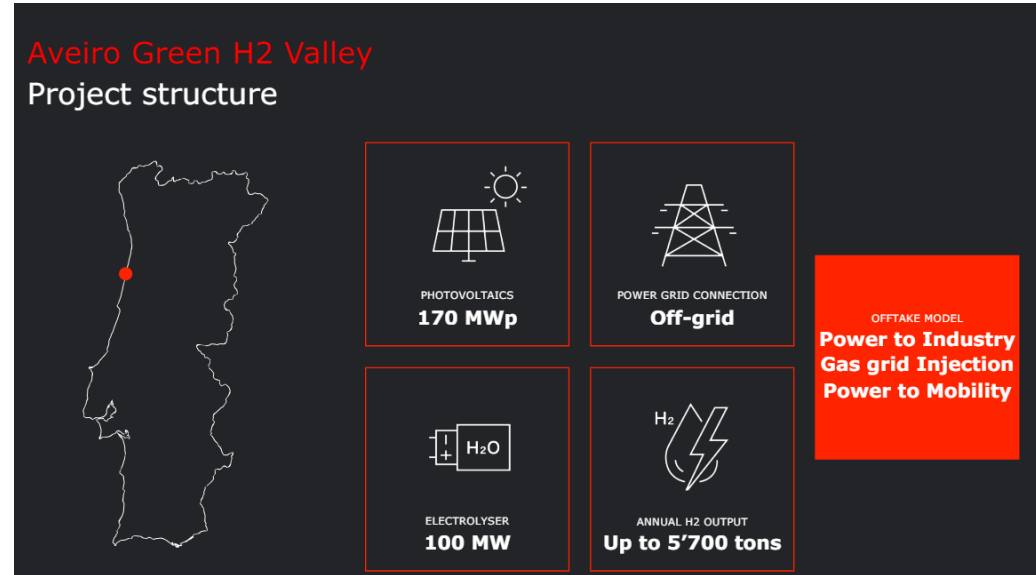
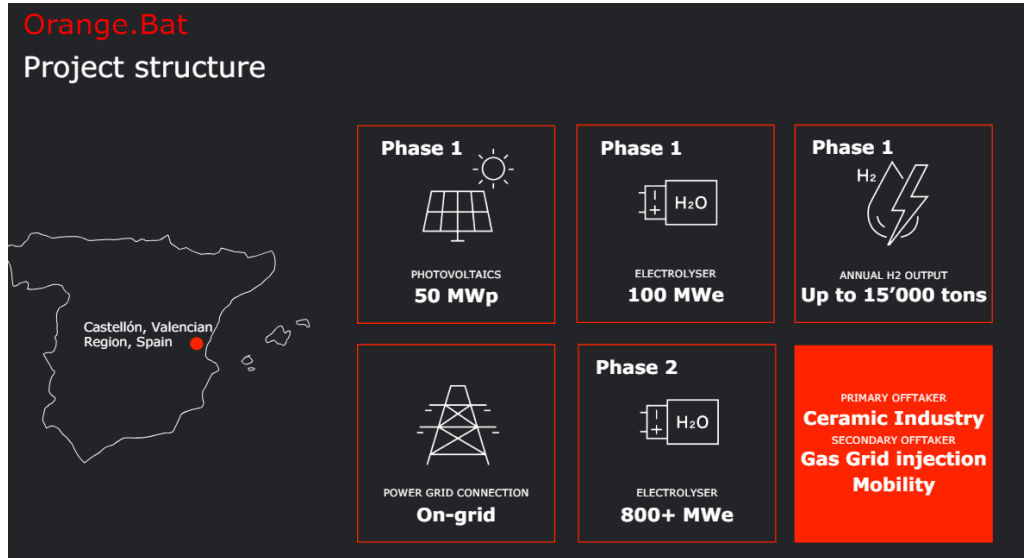
Tecnologías horizontales de descarbonización

Uso del hidrógeno como combustible para generación de calor.
Fornecimento de hidrógeno verde



Avanza la planta de hidrógeno verde de 100MW en Onda: sale a exposición pública el proyecto

The valley where big decarbonisation begins



ENERGÍA

El clúster del hidrógeno verde HyVal de bp arranca un año después con la previsión de ejecutar la primera fase antes de verano

La refinería espera construir un primer electrolizador de 25 MW, el más grande de España, antes de julio y apunta a 2026 como ejercicio en el que producirá ya hidrógeno verde. Reeditan la colaboración con la Generalitat Valenciana



03 APR 2023, 14:30

IdrogeMO: progetto Hera e Snam per la Hydrogen Valley di Modena ottiene 19,5 milioni di euro dalla regione Emilia-Romagna

Tags: Idrogeno, Hydrogen Valley, Emilia-Romagna, Modena

Tecnologias horizontais de descarbonização Uso do hidrogênio como combustível para geração de calor.



plazacerámica

La patronal esmaltera culmina el montaje del proyecto de hidrógeno verde e inicia las primeras pruebas



© Foto: ANFFECC



Tecnologias horizontais de descarbonização

Possibilidades de eletrificação no setor de cerâmica



Forno elétrico industrial de rolos– 1.2 MW – 31m
Setembro de 2024

systemfoc



Muito obrigado

Gracias

Dr. Eliseo Monfort

Full Professor of Chemical Engineering

emonfort@itc.uji.es



GAIA- Grupo de ingeniería ambiental y
energética aplicada a procesos industriales

