

# Plano de Ação Setorial | Descarbonização do Setor da Cerâmica e do Vidro

- Contexto
- Relevância da Eficiência Energética
- Integração de Gases Renováveis

Indústria de Futuro | Seminário Cerâmica e Vidro

Lucas Marcon  
Ricardo Barbosa

23 | 04 | 2024

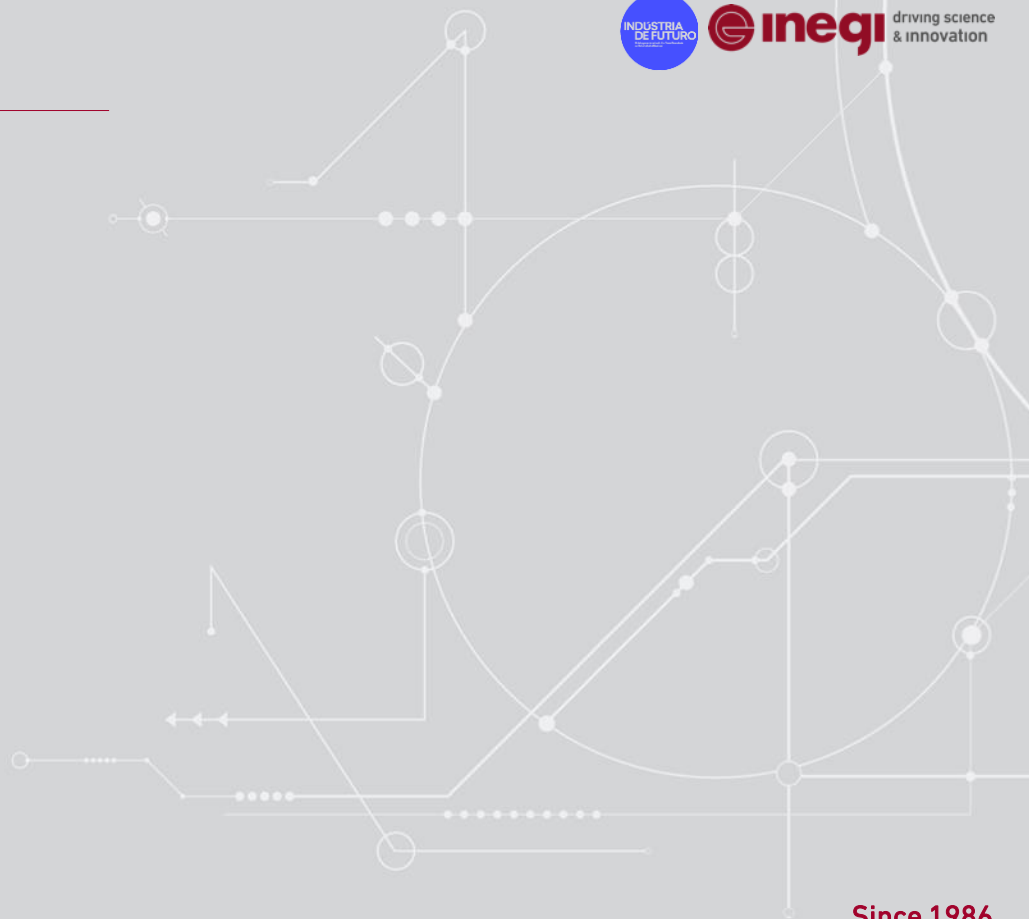


# ÍNDICE

1. Contexto
2. A relevância da Eficiência Energética
3. Projetos de Hidrogénio no setor da Cerâmica e do Vidro
4. Estudos de Hidrogénio no setor da Cerâmica e do Vidro
5. Estudos de Biometano no setor da Cerâmica e do Vidro
6. Introdução de Gases Renováveis nos setores da Cerâmica e Vidro
  - Cenarização de possível integração dos Gases Renováveis
  - Procura de Gases Renováveis
  - Redução de emissões
  - Alteração da matriz energética do mix do gás natural
  - Resumo dos resultados do estudo

# 1.

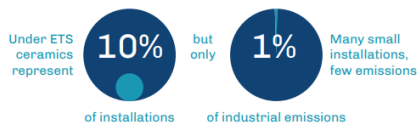
## Contexto



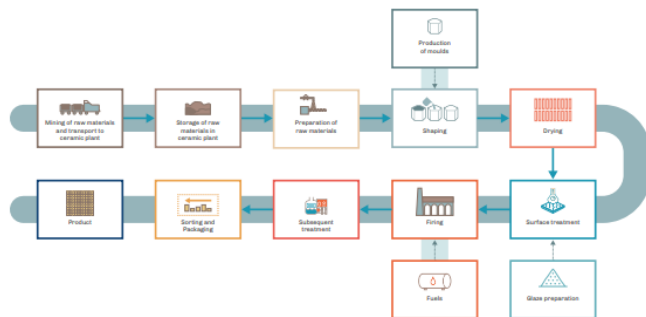
## Contexto



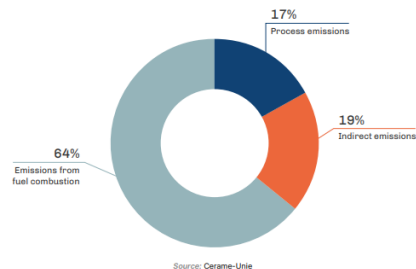
# Contexto



## MANUFACTURING PROCESS\*



## SHARE OF EMISSION SOURCES IN THE CERAMIC INDUSTRY IN 2020



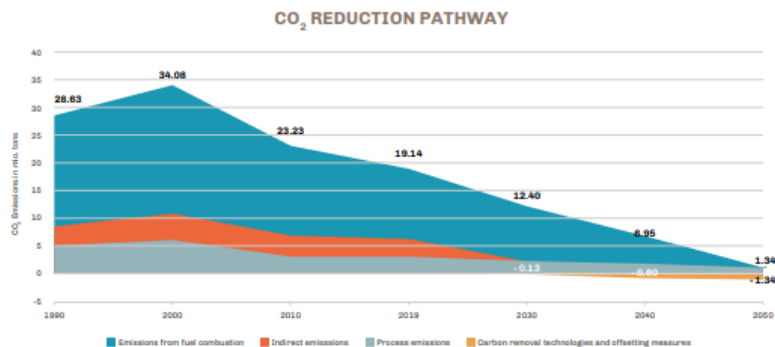
**CERAMIC ROADMAP TO 2050**

CONTINUING OUR PATH TOWARDS CLIMATE NEUTRALITY

**Cerame-unie** The European Ceramic Industry Association

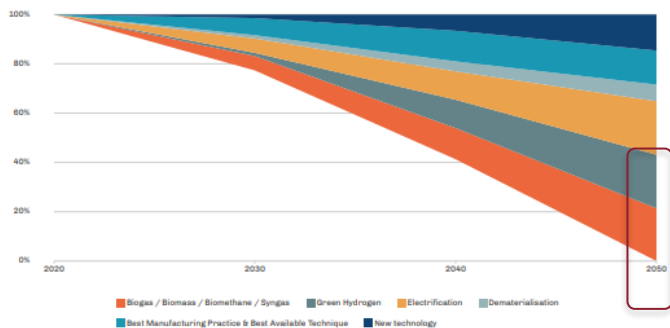
\* Simplified diagram of the stages in the manufacture of ceramic products. The production process may vary according to the correspondent Ceramic sub-sector.

# Contexto



Source: Cerame-Unie

## MEASURES CONTRIBUTING TO THE REDUCTION OF EMISSIONS FROM FOSSIL FUEL COMBUSTION



Source: Cerame-Unie

| Technologies              | Technological advancement status (1=low advancement, 5=fully available) |
|---------------------------|---|
| Microwave-assisted drying | 2   |
| Heat pumps                | 3   |
| Biomass                   | 4   |
| Biogas                    | 4   |
| Syngas                    | 3   |
| Green hydrogen            | 2   |
| Electrification           | 2   |
| CCS - CCU                 | 1   |

**CERAMIC ROADMAP TO 2050**

CONTINUING OUR PATH TOWARDS CLIMATE NEUTRALITY

**Cerame-Unie** The European Ceramic Industry Association

## Contexto

### Annex I : Technology potentials for further emissions savings

The glass industry is contemplating several more 'disruptive' routes for decarbonising its production process. **Not all the below technologies are mature, nor readily applicable to all branches of the glass industry. Most importantly, many of the below technologies are mutually exclusive.** Therefore, the theoretical emission reduction potentials cannot be added up.

#### ***Increased supply of good quality cullet***

Almost all container and flat glass manufacturers have the potential to use more cullet (=recycled glass) on the condition that it is available at the right quality. This route to lower emissions is consistent with sustainability efforts in the industry and the EU Circular Economy aspirations however its potential is limited to the theoretical maximum of amounts of waste glass that is available every year in the EU (container glass is already highly recycled (74%) and waste building glass quantities not yet recycled are limited in the EU).

#### ***Use of waste heat to pre-heat raw materials (standard batch or pelletised batch)***

Waste heat recovery is already extensively applied in the glass industry to preheat the combustion air entering the furnace at temperatures higher than 1,000°C. Some residual waste heat can be further used to preheat the raw materials entering the furnace or for other applications like district heating. Pre-heating the raw materials is limited to preheating of either cullet only or batches containing more than 40% cullet, otherwise clogging problems and dust carry-over would occur. This is why the necessity to increase the availability and affordability of good quality cullet (point above). The use of pelletised batch would remove this limitation and solve the issue of batch carry-over, which is often associated with the use of pre-heaters but is not yet mature. It must be noted that pre-heating raw materials cannot be coupled with electric melting, as the flue gas temperature in this case is too low.

#### ***Low carbon/hybrid combustion***

This category encompasses in fact a number of different options some of which can be combined:

- Switch to almost full-electric (~80%) melting;
- Oxy-fuel combustion (and use of decarbonised electricity to produce the oxygen);
- Use of biogas, acknowledging that the activation of this potential is limited by the quantities of biogas required by the sector and the quantities available<sup>11</sup>;
- The addition of carbon-free hydrogen to the gas grid. However, any alternative fuel (especially hydrogen) must be modified as hydrogen flames are much less luminous than natural gas flames, making the heat transfer to the glass melt much less efficient. This will still require quite some coordinated research. The efficiency of oxyfuel combustion can be improved by preheating of the gas and oxygen using the waste heat from the furnace.

**It has to be noted that most of these technologies do not eliminate the CO<sub>2</sub> process emissions (originating from the decomposition of raw materials leading to CO<sub>2</sub> emissions and representing between 15% and 25% of the total glass industry's emissions).**



# Contexto

## ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E ENERGIA

### Opções Tecnológicas de mitigação – custos e potencial

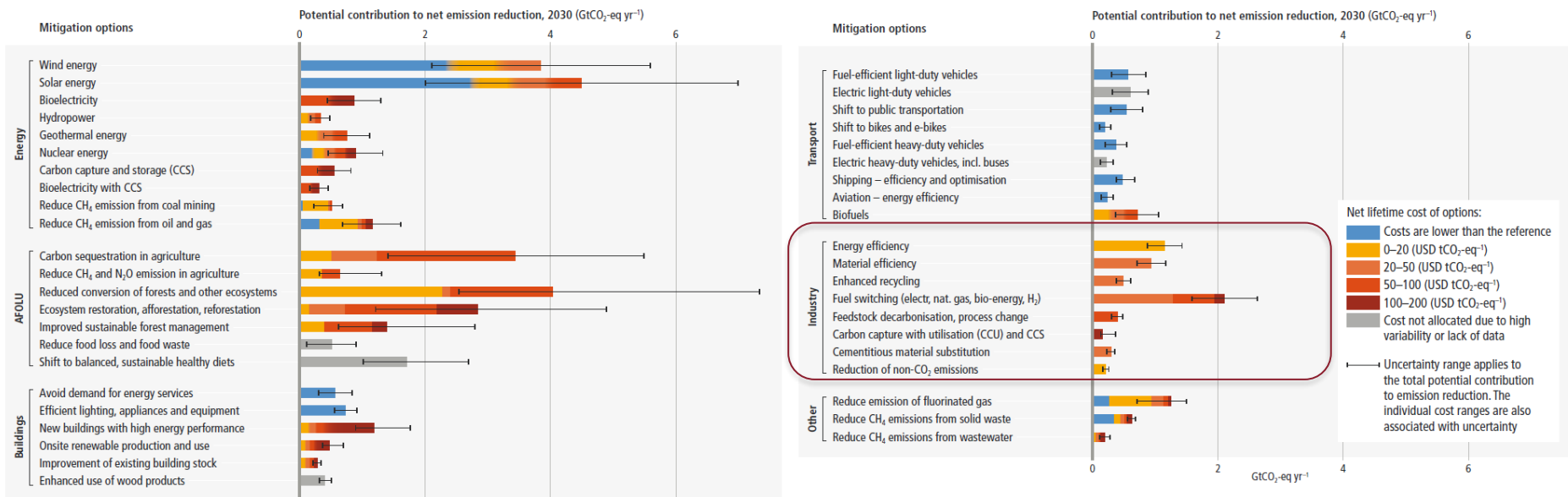


Figure SPM.7 | Overview of mitigation options and their estimated ranges of costs and potentials in 2030.



## Contexto

# ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E ENERGIA

## Opções de mitigação – custos e potencial



Figure 4. Global decarbonization hinges on highly capital-intensive technologies<sup>50</sup>

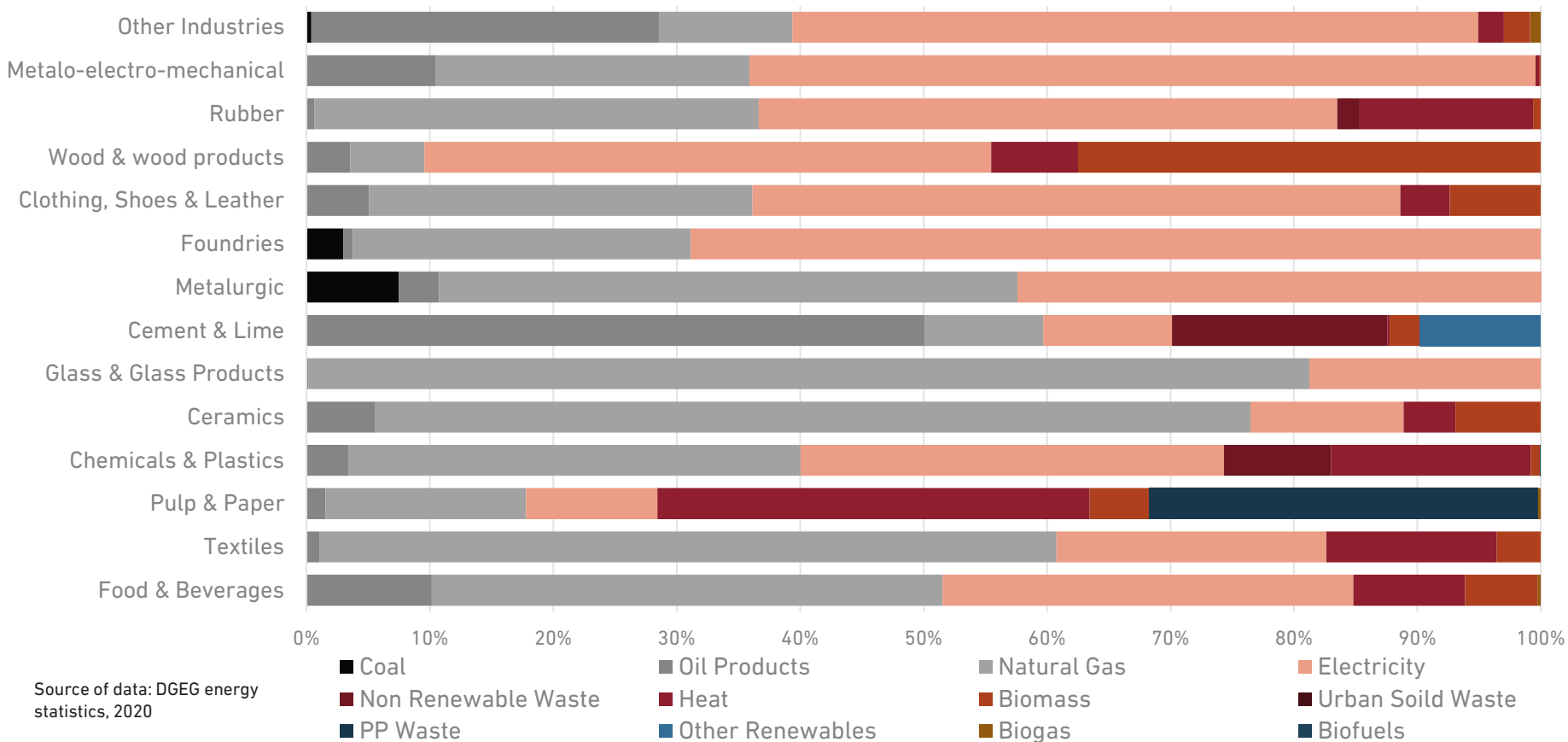
| Sector          | Category     | Main solutions                     | Additional requirements     |                |          | Cost structure | TRL      | NZP                                 |  | Potential limitations of the solution |
|-----------------|--------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------|----------|----------------|----------|-------------------------------------|--|---------------------------------------|
|                 |              |                                    | Skilled workers             | Disruptiveness | Cost     |                |          | (1)                                 | (2)                                    |                                       |
| Power           | Renewables   | Wind                               | ●                           | ●              | ●        | Upfront        | ●        | ●                                   | Land use, mineral needs                |                                       |
|                 |              | Solar (PV)                         | ●                           | ●              | ●        | Upfront        | ●        | ●                                   | Land use, concentrated market          |                                       |
|                 |              | Geothermal                         | ●                           | ●              | ●        | Upfront        | ●        | ●                                   | Geographical constraint                |                                       |
|                 | Fossil fuels | Hydro                              | ●                           | ●              | ●        | Upfront        | ●        | ●                                   | Geographical constraint                |                                       |
|                 |              | Retrofitting (bio/H <sub>2</sub> ) | ●                           | ●              | ●        | Lifetime       | ●        | ●                                   | Fuel cost, limited biomass             |                                       |
|                 |              | CCUS                               | ●                           | ●              | ●        | Upfront        | ●        | ●                                   | Missing CO <sub>2</sub> infrastructure |                                       |
| Industry        | Nuclear      | Gen III+ / SMR                     | ●                           | ●              | ●        | Upfront        | ●        | ●                                   | Safety, waste management               |                                       |
|                 |              | Electrification                    | ●                           | ●              | ●        | Both           | ●        | ●                                   | Power price and supply stability       |                                       |
|                 | Chemicals    | Hydrogen                           | ●                           | ●              | ●        | Both           | ●        | ●                                   | Infra., hydrogen availability          |                                       |
|                 |              | Bioenergies                        | ●                           | ●              | ●        | Lifetime       | ●        | ●                                   | Limited sustainable biomass            |                                       |
|                 |              | Recycling                          | ●                           | ●              | ●        | Lifetime       | ●        | ●                                   | Plastic collection rates               |                                       |
|                 |              | CCUS                               | ●                           | ●              | ●        | Both           | ●        | ●                                   | Missing CO <sub>2</sub> infrastructure |                                       |
|                 | Steel        | Electrification (EAF)              | ●                           | ●              | ●        | Lifetime       | ●        | ●                                   | Power price, scrap availability        |                                       |
|                 |              | Hydrogen (DRI)                     | ●                           | ●              | ●        | Both           | ●        | ●                                   | Infrastructure, technical limitations  |                                       |
|                 |              | CCUS                               | ●                           | ●              | ●        | Both           | ●        | ●                                   | Missing CO <sub>2</sub> infrastructure |                                       |
|                 |              | Cement                             | Alternative input materials | ●              | ●        | ●              | Lifetime | ●                                   | ●                                      | Availability of good clay deposits    |
|                 |              |                                    | CCUS                        | ●              | ●        | ●              | Lifetime | ●                                   | ●                                      | Safety, end-of-life                   |
|                 |              | Light industry                     | Hydrogen (heat)             | ●              | ●        | ●              | Lifetime | ●                                   | ●                                      | Infrastructure requirements           |
| Electrification | ●            |                                    | ●                           | ●              | Lifetime | ●              | ●        | Maturity/infrastructure/cost issues |  |                                       |
| Electrification | ●            |                                    | ●                           | ●              | Lifetime | ●              | ●        | Power price and supply stability    |  |                                       |
| Hydrogen        | ●            |                                    | ●                           | ●              | Lifetime | ●              | ●        | Infrastructure requirements         |  |                                       |
| Bioenergies     | Bioenergies  | ●                                  | ●                           | ●              | Both     | ●              | ●        | Limited sustainable biomass         |  |                                       |

# 2.

## Plano de ação | Eficiência Energética



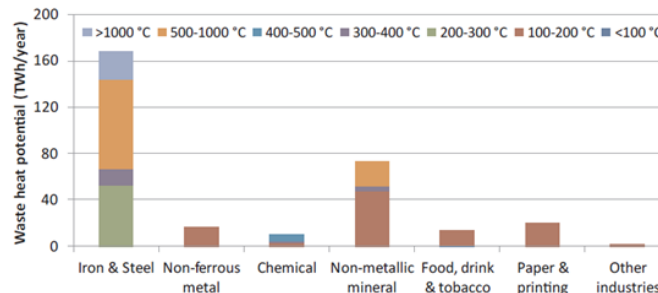
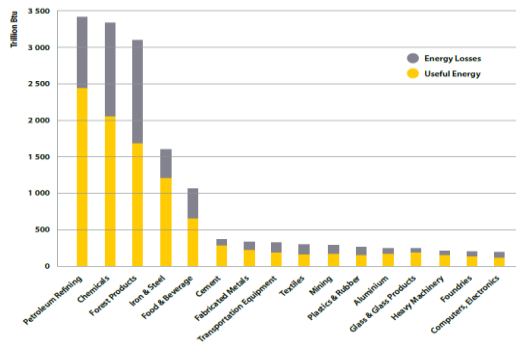
## Plano de ação | Eficiência Energética



Source of data: DGEG energy statistics, 2020



## Energia térmica desperdiçada



CO<sub>2</sub> ↑ kWh ↑ € ↑

## Plano de ação | Eficiência Energética

### Redução de desperdícios | Isolamentos térmicos

#### Caso Estudo (1) | Isolamento da tubagem de admissão de ar de queima num forno de cerâmica

$$T_{\text{tubagem}} = 63,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{tubagem}} = 38,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Sem isolamento:



Com isolamento:



#### Caraterísticas da tubagem:

- Diâmetro = 0,1 m
- Comprimento = 0,3 m
- $\Delta T \approx 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Horas de funcionamento = 8000 h/ano

Não isolando os acessórios corresponde a uma **perda energética** de cerca de 0,75 tep.

A nível **económico**, ao aplicar o isolamento numa tubagem nestas condições é possível obter as seguintes **poupanças**, dependendo do vetor utilizado:

Numero de queimadores: 48

Poupança GEE = 3 tCO<sub>2</sub>/ano

## Plano de ação | Eficiência Energética

### Redução de desperdícios | Isolamentos térmicos

#### Caso Estudo (2) | Isolamento de tubagem de ar recuperado de um forno cerâmico para vários equipamentos

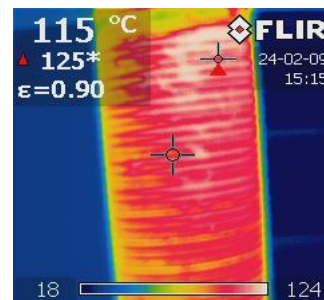
**Âmbito:** A tubagem que encaminha o ar recuperado para outros equipamentos pode atingir temperaturas até 125°C.

#### Características da tubagem:

- Diâmetro: 80mm
- Temperatura media: 100°C
- Comprimento: 241m

#### A colocação de isolamento térmico típico, irá permitir:

- Reduzir a temperatura da tubagem para 32°C
- Redução de energia anual desperdiçada de 95%.



| CONDUCTIVITE THERMIQUE $\lambda$ |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TEMPERATURE MEDIUM (°C)          | 10    | 50    | 100   | 150   | 200   | 250   |
| $\lambda$ (W/m.°C)               | 0.036 | 0.038 | 0.046 | 0.057 | 0.070 | 0.084 |

Sendo custo do gás natural **30€/MWh**, a aplicação desta medida de eficiência energética possibilitar a uma poupança de **0,04 €/h por metro de tubagem**, para as horas de funcionamento da empresa.

Além disso, teríamos uma poupança de emissões de CO2 = **326 gCO2/m** (hora de funcionamento)

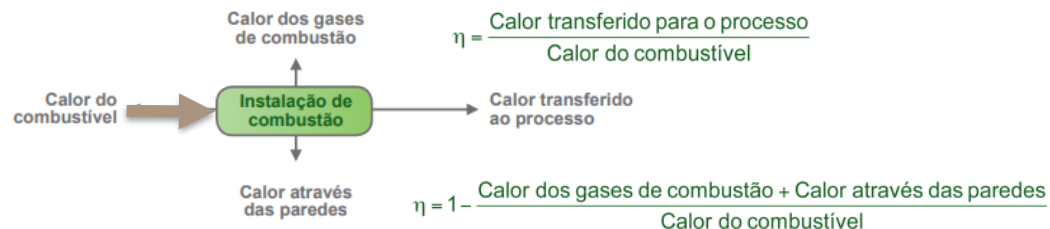
## Plano de ação | Eficiência Energética

### Eficiência Energética e Redução de Desperdícios | Caldeiras, Fornos e secadores

#### Diminuição de perdas térmicas de um sistema de combustão

Para aumentar a eficiência energética é necessário reduzir:

- perdas térmicas nas paredes;
- perdas térmicas nos gases de combustão.



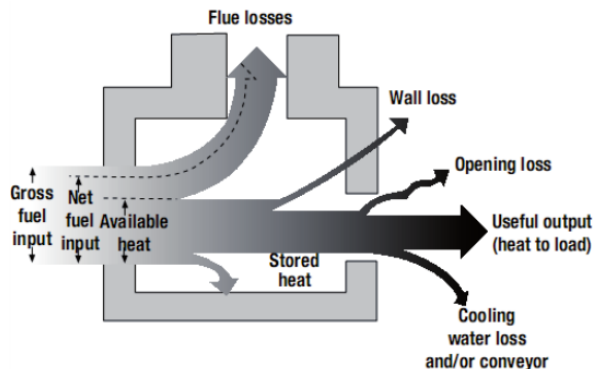
- Redução da temperatura de saída dos gases de combustão
  - Aumento da transferência de calor no Sistema
  - Pré aquecimento do ar de entrada com os gases de saída da combustão
  - Limpeza e manutenção das superfícies de transferência de calor
  - Instalação de um Sistema de Rankine orgânico para a produção de eletricidade
- Geralmente evita-se reduzir a temperatura dos gases abaixo dos 120°C de modo a evitar condensações dos gases de combustão e possíveis corrosões dos equipamentos

## Plano de ação | Eficiência Energética

### Eficiência Energética e Redução de Desperdícios | Fornos

#### Boas Práticas

- Controlar a qualidade e a dosagem das matérias-primas;
- Inspeccionar e proceder à manutenção dos fornos e dos queimadores;
- Controlar a combustão através da análise dos gases de combustão (regulação do excesso de ar);
- Efectuar uma manutenção adequada dos isolamentos e reparar as fugas;
- Verificar os sistemas de controlo de combustão;
- Programar as cargas.



| Alocação                           | Quotas Típicas |
|------------------------------------|----------------|
| Energia útil                       | 20 – 30 %      |
| Perdas pelos gases de exaustão     | 25 – 50 %      |
| Perdas pela abertura dos fornos    | 5 – 10 %       |
| Perdas associadas ao arrefecimento | 10 – 15 %      |
| Perdas pelas paredes do forno      | 10 – 15 %      |

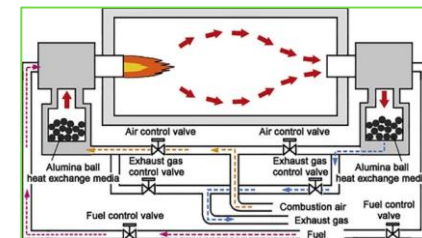
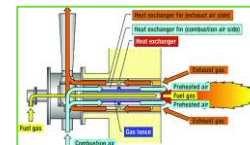


## Plano de ação | Eficiência Energética

### Eficiência Energética e Redução de Desperdícios | Fornos

#### Boas Práticas

- Reduzir as infiltrações de ar e sucessivas perdas térmicas;
  - Melhorar o isolamento térmico → materiais refratários ou fibras cerâmicas (p.ex. lã mineral);
  - Materiais refratários usados nos fornos → p.ex. SiC (Carboneto de Silício), têm menor densidade do que os refratários comuns e maior resistência térmica;
  - Utilizar queimadores mais eficientes como **queimadores recuperativos** e **regenerativos**, ou queimadores de alta velocidade;
- 
- Substituir fornos antigos → capacidade adequada;
  - Controlo digitalizado → tempo, temperaturas do processo, consumos e emissões;
  - Utilizar a relação ar/combustível ideal;
  - Substituição do combustível/vetor energético utilizado (**gás natural, biogás, hidrogénio, eletricidade**);
  - **Aproveitamento do calor residual.**

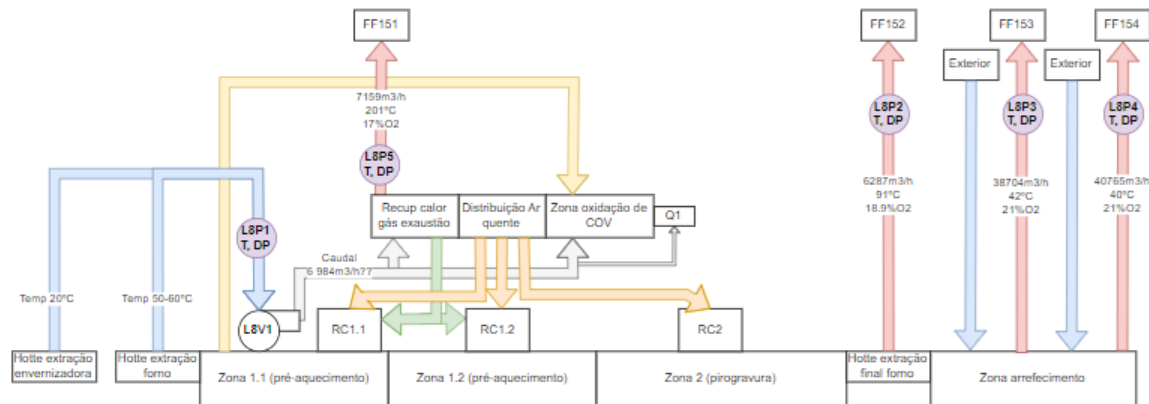


## Plano de ação | Eficiência Energética

### Eficiência Energética e Redução de Desperdícios | Secadores

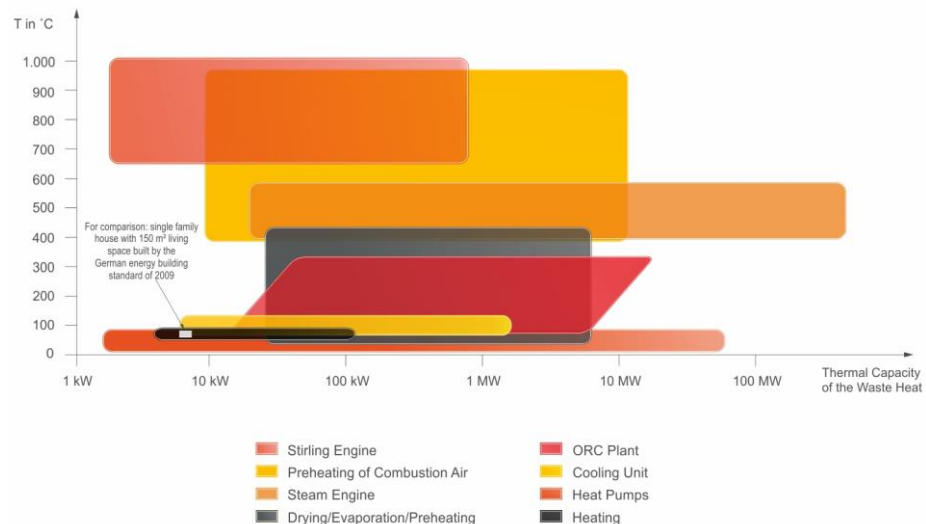
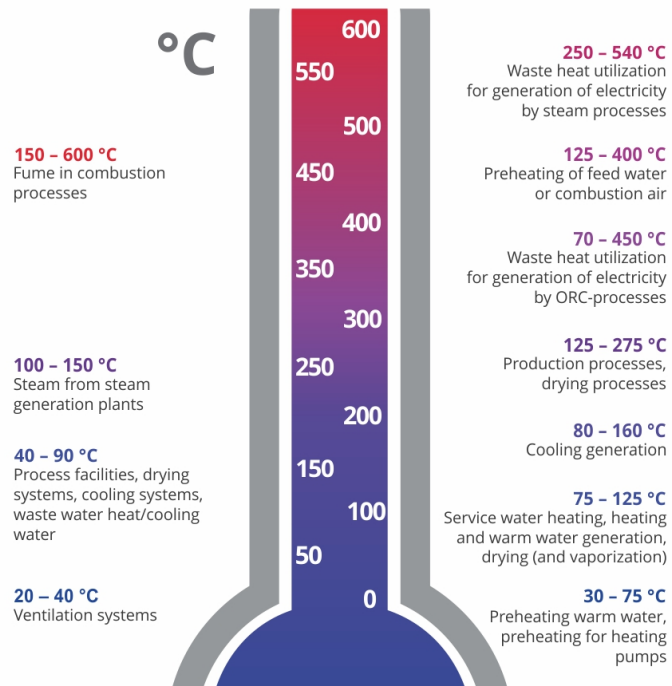
#### Boas Práticas e Melhores Técnicas Disponíveis

- Controlar a humidade do produto a secar;
- Usar pré-secagem mecânica antes da secagem térmica;
- Não secar os produtos mais do que o necessário;
- Controlar as condições de humidade do ar de secagem;
- Efectuar a manutenção dos isolamentos em bom estado, evitando fugas de ar quente e/ou entradas de ar parasita;
- Estudar a recuperação de calor residual;
- Optimizar os regimes de carga.



## Plano de ação | Eficiência Energética

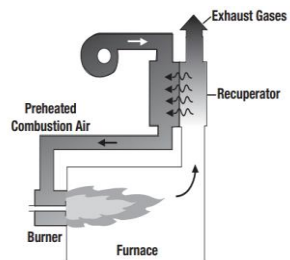
### Recuperação e Reutilização de Calor Residual



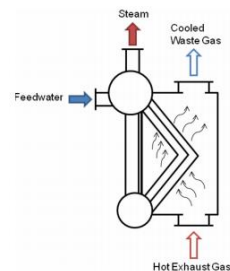
<https://www.waste-heat.eu/>

## Recuperação e Reutilização de Calor Residual | Caldeiras, Fornos e secadores

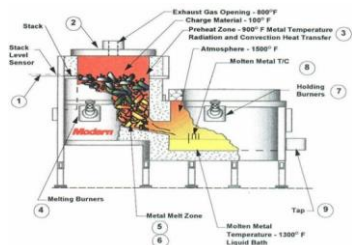
Pré Aquecimento do ar de combustão



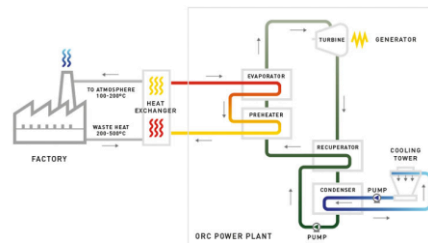
Pré aquecimento de água de processo (economizador)



Pré Aquecimento da matéria prima



Produção de energia elétrica  
Ciclos Orgânicos de Rankine (CRO)



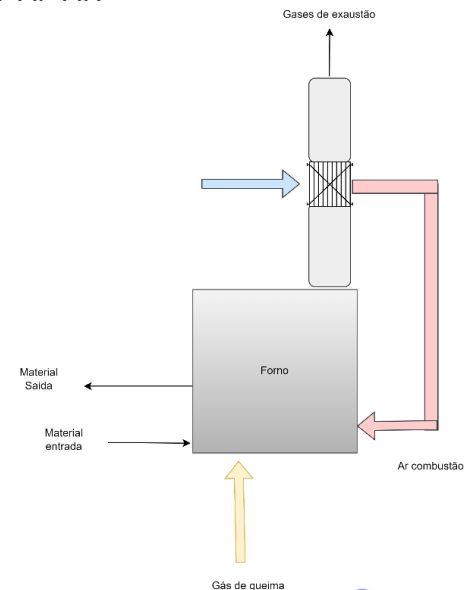
### Eficiência Energética | Caldeiras, Fornos e secadores

#### Recuperação e reutilização de Calor Residual

##### Caso Estudo (1) | Pré Aquecimento do ar de combustão num forno de vidro

**Âmbito:** Recuperação de calor dos gases de exaustão para pré aquecimento do ar de combustão. A solução para a recuperação de calor envolveria a implementação de permutadores de calor Ar-Ar.

- i. Caracterização dos efluentes gasosos:
  - a. Temperatura: 650°C
  - b. Caudal: 1 000kg/hr
  
- i. Pressupostos:
  - a. Temperatura mínima para prefinir condensações: 120°C
  - b. Eficiência do permutador: 70%
  - c. Custo de gás natural: 30€/MWh
  
- i. Conclusões:
  - a. Energia recuperável: 1 270MWh/ano
  - b. Poupanças económicas: 38 100€ /ano
  - c. Poupanças em GEE: 293tCO<sub>2</sub>/ano



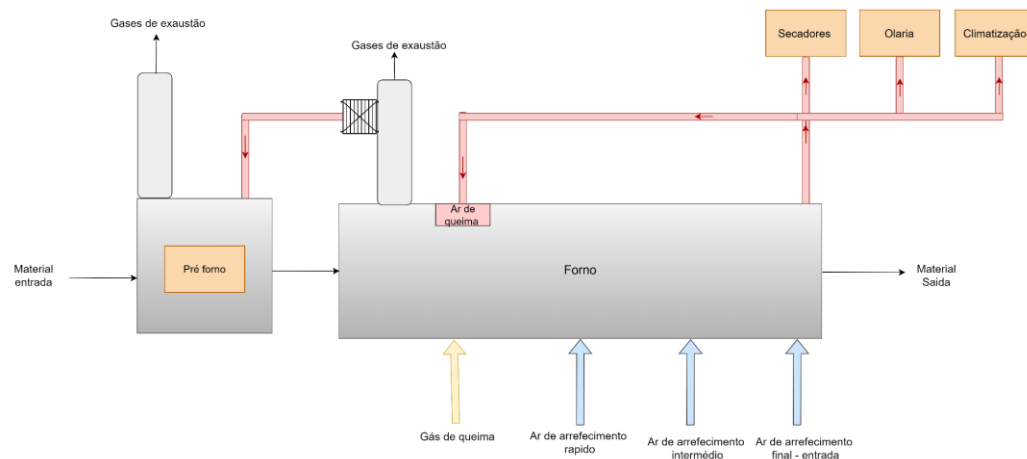
## Plano de ação | Eficiência Energética

### Eficiência Energética | Caldeiras, Fornos e secadores

#### Recuperação e reutilização de Calor Residual

##### Caso Estudo (2) | Recuperação de calor num forno de Cerâmica

**Âmbito:** Recuperação de calor dos gases de exaustão para pré aquecimento das peças e aproveitamento do ar de arrefecimento para pré aquecimento de ar de queima e uso noutros equipamentos. A solução para a recuperação de calor envolveria a implementação de permutadores de calor Ar-Ar nas chaminés de gases exaustão e recolha completa do ar de arrefecimento, uma vez que, a concentração de oxigénio é de 21%.



## Plano de ação | Eficiência Energética

### Eficiência Energética | Caldeiras, Fornos e secadores

#### Recuperação e reutilização de Calor Residual

##### Caso Estudo (2) | Recuperação de calor num forno de Cerâmica

#### i. Caracterização dos efluentes gasosos:

##### a. Chaminé dos gases de exaustão:

- i. Temperatura: 170°C
- ii. Caudal: 7 150kg/hr

##### b. Chaminé do ar de arrefecimento:

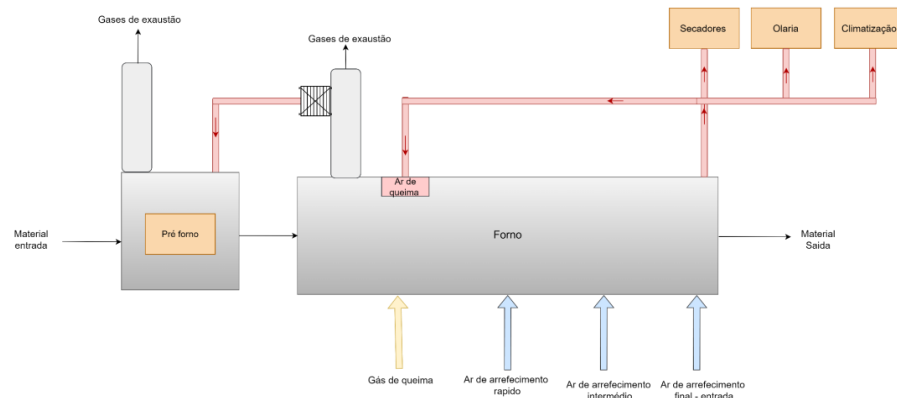
- i. Temperatura: 115°C
- ii. Caudal: 18 760kg/hr

#### ii. Pressupostos:

- a. Temperatura mínima para os gases de exaustão para predefinir condensações: 120°C
- b. Eficiência do permutador: 70%
- c. Custo de gás natural: 30€/MW

#### iii. Conclusões:

- a. Energia recuperável: 5 514MWh / ano
- b. Poupanças económicas: 162 000€/ano
- c. Poupanças em GEE: 1 250tCO<sub>2</sub> / ano



## Plano de ação | Eficiência Energética

### Eficiência Energética | Caldeiras, Fornos e secadores

#### Recuperação e reutilização de Calor Residual

##### Caso Estudo (3) | Ciclo Orgânico de Rankine

**Âmbito:** Atualmente, já existem aplicações em ambiente fabril desta tecnologia, nomeadamente numa empresa espanhola pertencente ao setor cerâmico.

##### Parâmetros operatórios do sistema ORC instalado:

- Fonte de calor: 160kWt
- Potência elétrica media: 20kWe
- Gama de temperaturas de operação: 120-200°C
- Horas de funcionamento: 7 800h

##### Os resultados experimentais para Rank® HT-20:

- Poupança de GEE: 44tCO<sub>2</sub>

**PRI:** < 5 anos, considerando poupanças anuais (em custos de aquisição de energia) de 20 000 euros



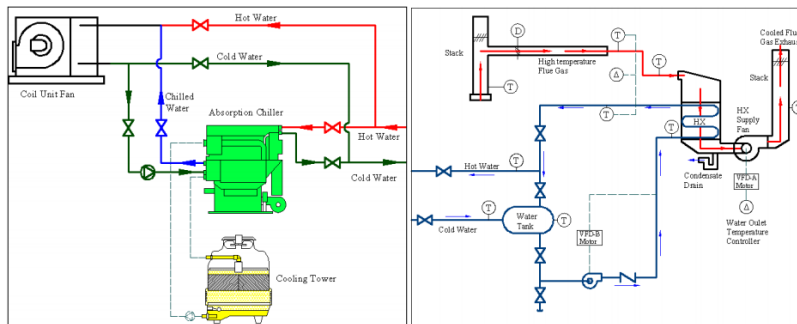
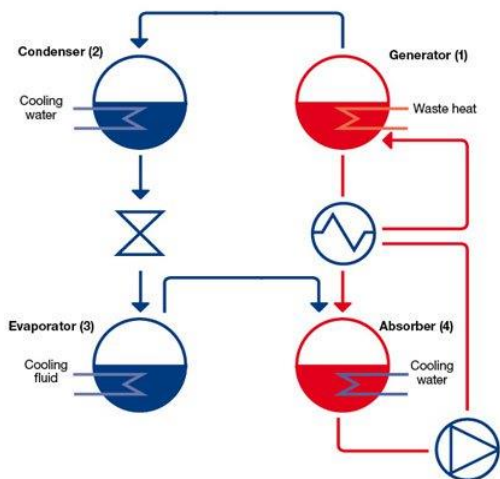
Fonte: “Micro-generation and micro combined heat and power generation using “free” low temperature heat sources through Organic Rankine Cycles”



## Plano de ação | Eficiência Energética

### Recuperação e reutilização de calor residual | Chillers

A eficiência dos **chillers de absorção** depende da temperatura do calor e da água de arrefecimento: quanto maior a diferença de temperatura, melhor será a sua eficiência. Este tipo de sistema é especialmente atrativo para indústrias onde existe uma elevada quantidade de **calor residual** e necessidade de algum tipo de arrefecimento.



Fonte: J. Bautista, Heat Recovery System in an Industrial Furnace to Generate Air Conditioning Through an Absorption Chiller, 2014

## Plano de ação | Eficiência Energética

### Recuperação e reutilização de calor residual | Compressores

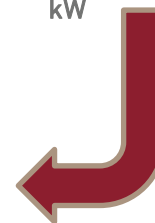
#### Caso Estudo (1) | Recuperação de calor para chillers de absorção

Uma empresa possui uma fonte fixa de calor (forno de fusão) com as seguintes características:

- Caudal do efluente = 11 338 m<sup>3</sup>/h
- Temperatura saída do efluente = 198 °C



Potência térmica disponível (110 °C) = 220 kW



Sugere-se a instalação de um chiller de absorção de 200 kW para aproveitamento do calor residual num sistema de climatização:



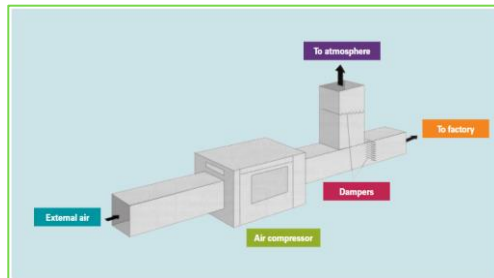
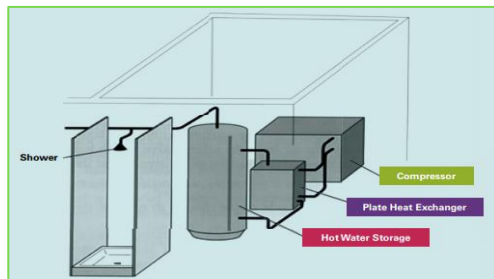
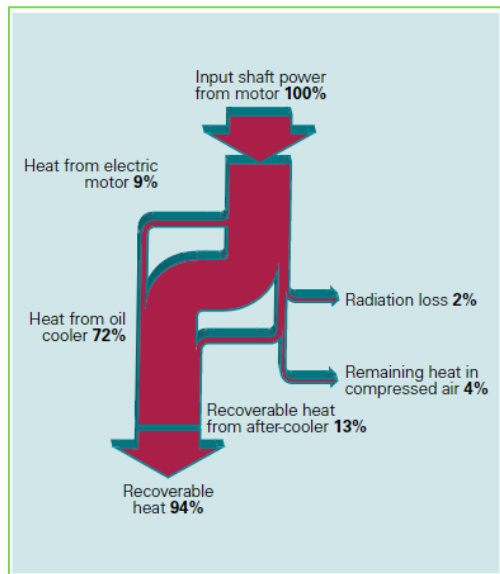
#### Poupanças obtidas

|   |         |
|---|---------|
| Energia utilizada em climatização [kWh/ano] | 160 711 |
| Poupanças anuais [€/ano]                    | 12 857  |
| Investimento [€]                            | 62 500  |
| PRI [anos]                                  | 5       |

## Plano de ação | Eficiência Energética

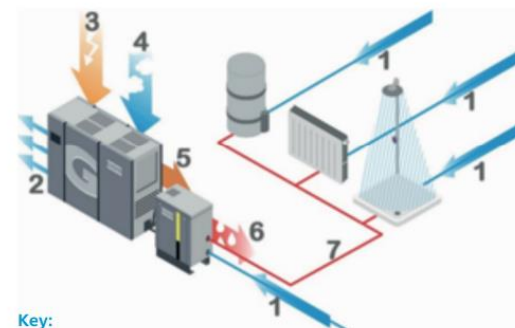
### Recuperação e reutilização de calor residual | Compressores

Cerca de 90% da energia elétrica utilizada por **compressores industriais** é convertida em energia térmica, pelo que aproveitar esse calor dissipado (pode atingir os 80 °C) permite aumentar o rendimento de um sistema de ar comprimido, especialmente em indústrias que têm bastantes horas de operação como as que se encontram neste setor.



Fonte: Carbon Trust

### Stand-alone energy recovery units



Key:

- 1) Cold water
- 2) Compressed air
- 3) Electric power
- 4) Air
- 5) Oil circuit
- 6) Energy recovery
- 7) Warm water

Fig 3. Oil-injected screw compressor heat recovery system with a stand-alone energy recovery unit

## Plano de ação | Eficiência Energética

### Recuperação e reutilização de calor residual | Compressores

#### Caso Estudo (1) | Implementação de Kits de recuperação de calor

Empresas deste sector possuem compressores de ar comprimido

- Energia elétrica consumida anual: 328 000 kWh/ano
- Temperatura saída do óleo de lubrificante= 68 °C



Energia térmica disponível (60°C)  
295 200 kWh

Sugere-se a instalação de um sistema de recuperação de calor instalado nos compressores para produção de água quente sanitária (AQS):



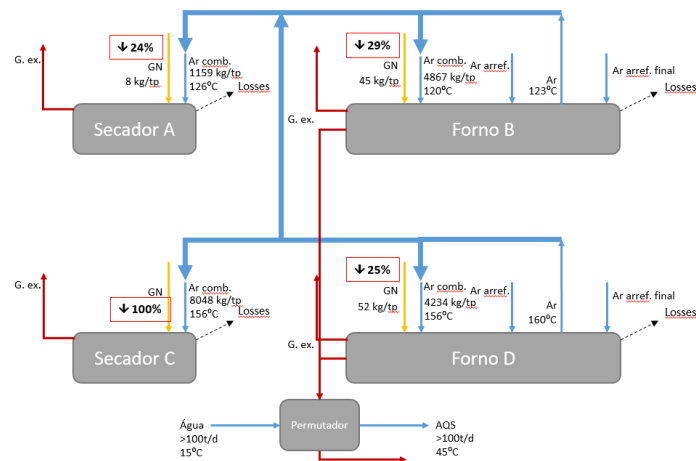
#### Poupanças obtidas

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| Energia utilizada em AQS [kWh/ano] | 295 200 |
| Poupanças anuais [€/ano]           | 585,0   |
| Investimento [€]                   | 1 500   |
| PRI [anos]                         | 2,56    |

## Plano de ação | Eficiência Energética

### Fluxos de Calor Residual | Integração Energética de Processos

A integração energética permite reduzir o consumo de utilidades exteriores ao processo, aproveitando os excessos entálpicos de correntes quentes para fornecer a correntes com deficiência de energia (ou seja, correntes frias) através de uma **rede de permutadores de calor**.

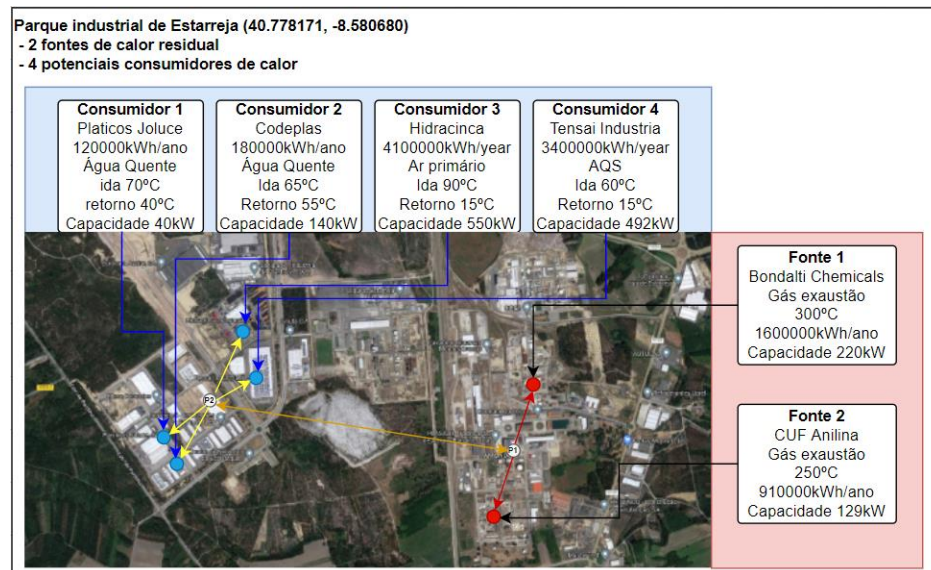


Após a análise de integração, as correntes com estas características deixam de permutar **calor** apenas com utilidades externas e passam a permutar também entre si, reduzindo desta forma o consumo total de energia.

## Plano de ação | Eficiência Energética

### Simbiose Industrial de Calor Residual

O procedimento começa por custear a rede de calor para cada possível combinação de fontes e consumidores de calor disponíveis. O procedimento de cálculo do comprimento dos vários troços da rede de calor de cada combinação, baseia-se no esquema apresentado, calculando-se inicialmente o ponto médio de cada cluster. Este é obtido através de uma média das coordenadas de cada ponto de consumo e produção, respetivamente. A potência térmica de transmissão entre os pontos médios de consumo e produção é a potência máxima, sendo a potência de transmissão entre o ponto médio e o ponto de produção/consumo, a potência individual de cada ponto.

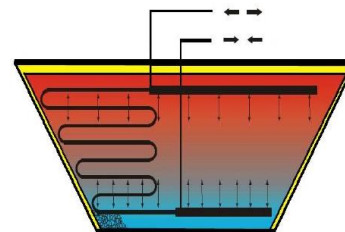
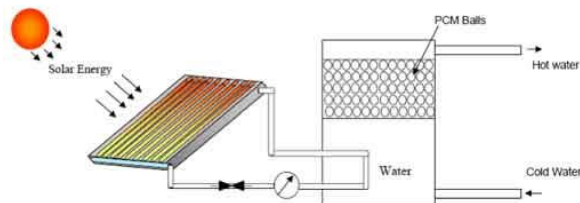


## Plano de ação | Eficiência Energética

### Fluxos de Calor Residual | Armazenamento de energia térmica

O **armazenamento de energia térmica** é uma tecnologia transversal que contribuirá para a transição do modelo energético por:

- aumentar a participação das **energias renováveis** e de baixo carbono, especialmente em **tecnologias solares térmicas**, por forma a colmatar as diferenças entre a oferta e procura de energia térmica.
- promover a flexibilidade operacional a **centrais de geração de energia térmica e a processos industriais**;
- permitir a **recuperação de calor residual** em processos industriais;
- Permite implementar estratégias de **Peak-shaving** e **flexibilidade do uso de energia elétrica em processos térmicos industriais eletrificados**;
- permitir a e:



Os sistemas de armazenamento de energia térmica englobam vários tipos de tecnologias disponíveis e diferentes gamas de temperatura, nas quais se podem inserir algumas aplicações existentes neste setor (baixa/média temperatura). Fundamentalmente, existem três tipos de mecanismos:

- **Armazenamento sensível**, no qual a temperatura do material de armazenamento varia com a quantidade de energia armazenada;
- **Armazenamento latente**, que utiliza a mudança de fase de um material para armazenar energia;
- **Armazenamento termoquímico**, onde se utilizam reações endotérmicas reversíveis como meio de armazenamento.

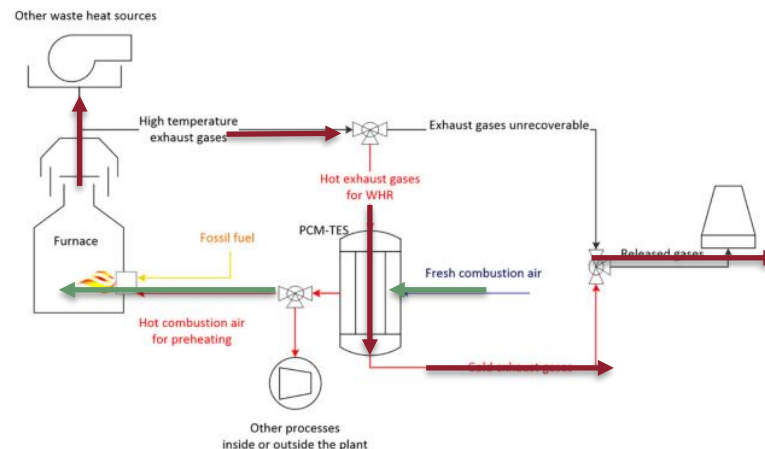
## Plano de ação | Eficiência Energética

### Fluxos de Calor Residual | Armazenamento de energia térmica

#### Caso Estudo (1) | Implementação de PCMs

**Âmbito:** Uma possibilidade de sistema de implementação de PCMs seria encaminhar os gases de exaustão dos fornos para um sistema de PCM para retirar o máximo de aproveitamento destes e armazenando a energia, podendo ser aproveitada para mais tarde ser usada para aquecer o ar de queima, ou em outros equipamentos, como secadores e arcas de recozimento

1. Saída dos gases de exaustão
2. Permuta no PCMs
3. Permuta do Ar de Queima no PCM
4. Pré aquecimento do Ar de Queima



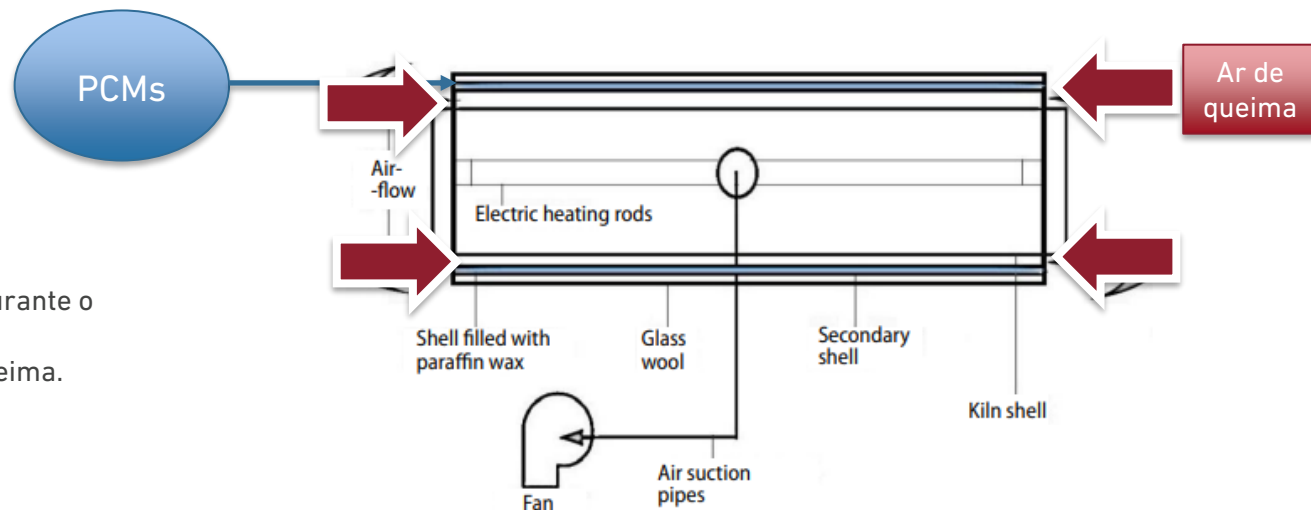


## Plano de ação | Eficiência Energética

### Fluxos de Calor Residual | Armazenamento de energia térmica

#### Caso Estudo (2) | Implementação de PCMs em revestimento de secadores rotativos

**Âmbito:** Estudo/aplicação de PCMs como revestimento exterior, para secadores rotativos

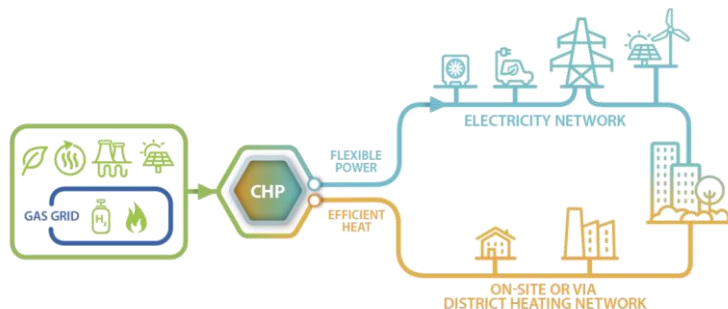


#### Vantagens:

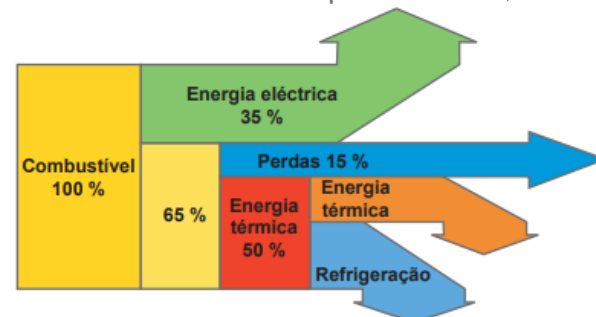
- Maior estabilidade térmica durante o funcionamento;
- Pré-aquecimento do ar de queima.

## Plano de ação | Eficiência Energética

### Cogeração e Trigeração



- A produção distribuída de **Cogeração** reduz as perdas no transporte e distribuição de energia elétrica nas redes de eletricidade e a necessidade de reforço de capacidade da rede, complementando e viabilizando a eletrificação dos vários setores da economia.
- **Eficiência Energética:** A Cogeração gera 40% mais energia útil do que as centrais só de calor e só de eletricidade, poupando pelo menos 10% de energia primária;
- A **Cogeração** evita o desperdício de calor pela produção de energia térmica, aumentando a eficiência de 30-50% para 75-95%;



## Plano de ação | Eficiência Energética

### Cogeração e Trigeração

#### Caso Estudo (1) | Sistemas de cogeração integrados em secadores cerâmicos

**Âmbito:** A empresa Solar, que comercializa sistemas de cogeração projetados para o setor cerâmico. Nesses sistemas, os gases de exaustão da turbina a gás são aproveitados num secador de *spray* cerâmico, introduzindo uma quantidade significativa de calor no processo de secagem.

Eficiência do processo: 27-32%



Sistemas de cogeração

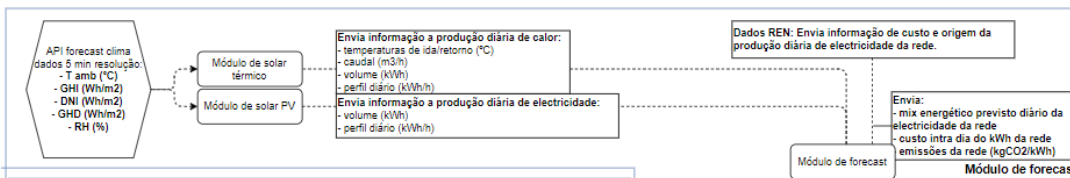
Eficiência do processo: 75-90%



## Plano de ação | Eficiência Energética

As ferramentas avançadas de gestão de energia permitirão uma descentralização da tomada de decisão e a promoção da descarbonização da indústria, através de:

- Previsão de **recurso renovável** e ligação ao planeamento industrial;
- Suporte à implementação de medidas de integração Energética (Metodologia Pinch), **recuperação de calor residual e simbiose industrial**;
- Monitorização em contínuo de fluxos de energia térmica e de eficiência de processos térmicos e geradores de **energia térmica**; - **Manutenção Preventiva**.
- Monitorização em contínuo da **Pegada Carbónica** de processos e produtos;



## Plano de ação | Eficiência Energética



### Desenvolvimento de soluções para Descarbonização da indústria Cerâmica

- Desenvolvimento de ferramentas informáticas de suporte à decisão para implementação de soluções de recuperação e reutilização de calor residual
- Desenvolvimento de soluções tecnológicas para descarbonização de processos de secagem na indústria cerâmica
  - Desenvolvimento de Sistemas de Armazenamento de Energia Térmica e de soluções de recuperação de calor e integração energética;
  - Desenvolvimento de soluções de *retrofitting* para adaptação de queimadores para funcionamento com combustíveis de baixo carbono e/ou gases renováveis.



PARCEIROS



## Plano de ação | Eficiência Energética

### Maturação da tecnologia/medidas de eficiência energética nos sectores Cerâmica e vidro

| TECNOLOGIA | DISPONÍVEL           | PILOTO  | NECESSITA DESENVOLVIMENTOS SIGNIFICATIVOS | TECNOLOGIA DISRUPTIVA |
|------------|----------------------|---|---|-----------------------|
|            |                      |   |   |                       |
|            |                      | Design de Novos Fornos  |   |                       |
|            |                      | Casco. Formulação de matérias primas para cozedura mais eficiente |   |                       |
|            |                      | Pré-condicionamento matérias primas                               |   |                       |
|            |                      | Otimização de processo  |   |                       |
|            | Recuperação de calor |   |   |                       |
|            |                      | Eficiência energética   |   |                       |
|            |                      | Fornos híbridos   |   |                       |
|            |                      | Biocombustível e bioresíduos                                      |   |                       |
|            |                      | Fornos totalmente elétricos                                       |   |                       |
|            |                      |   |   | CCS                   |

# 3.

## Projetos de Hidrogénio no setor da Cerâmica e do Vidro



## Projetos de Gases Renováveis nos setores da Cerâmica e Vidro

### Existem alguns desafios à integração dos GR na Cerâmica e Vidro:

- Complexidade do forno, tempo de utilização do forno, requisitos de segurança, predição da dispersão da chama e a invisibilidade da chama de hidrogénio

### Os processos passíveis de serem descarbonizados para atuar com GR:

- Cozimento da cerâmica (1700°C); Vidragem (1000-1250°C); Fusão do vidro (1500-1700°C)

### Maturidade de operação com GR:


- Operação a alta temperatura (vidro e cerâmica) encontra-se em TRL 5
- Novos projetos almejam a transição destes processos para TRL 6 e TRL 7





## Projetos de hidrogénio na indústria da Cerâmica

### Iris Ceramica group

 Localização: Castellarano, Itália



- Início de operação previsto para 2025
  - Misturas iniciais com 50% H<sub>2</sub> e integração futura de 100% de H<sub>2</sub>
  - Investimento total de 50 M€
  - Eletrolisador de 1 MW e 3,2 MW de potência solar PV
  - Produção de porcelana grés e lajes grandes (mobiliário de luxo)
  - Alívio de 500 000 m<sup>3</sup> de GN e diminuição de emissões de 900 ton por ano
  - Produção anual de 132 ton de hidrogénio verde



**IRIS  
CERAMICA  
GROUP**



## Projetos de hidrogénio na indústria da Cerâmica

### British Ceramic Confederation



Localização: Reino Unido



- Projeto estudo para investigar a viabilidade do hidrogénio na cerâmica
  - Ensaio num equipamento modificado com 100% H<sub>2</sub> e 100% CH<sub>4</sub>
  - Testes em argila pesada (tijolos, telhas, tubos de drenagem e vasos), louça branca (pratos vidrados e não vidrados) e material refratário
  - Resultados admitem comparabilidade apreciável entre produtos cozidos com 100% de H<sub>2</sub> e 100% de CH<sub>4</sub>



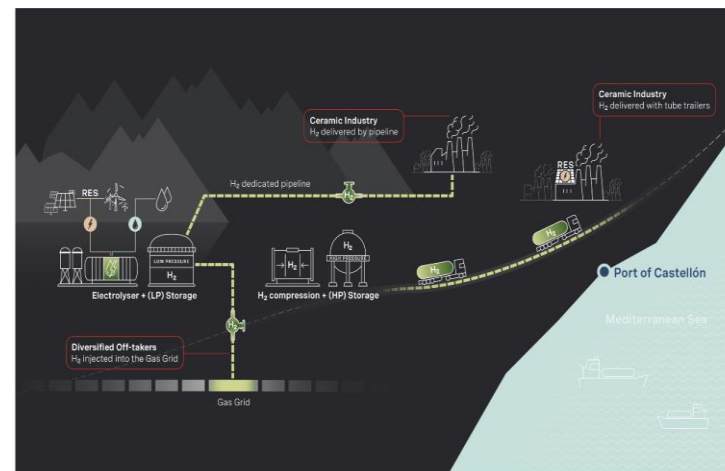
## Projetos de hidrogénio na indústria da Cerâmica

### Orange.Bat

Localização: Castellón, Espanha



- Início de operação previsto para 2025
  - Consórcio internacional de 40 organizações de Espanha, Alemanha, Suíça, Itália e Grécia
  - O alvo de estudo serão 26 consumidores industriais do cluster de cerâmica da comunidade Valenciana.
  - Produção de telha cerâmica
  - Eletrolisador alcalino de 100 MW com possível expansão para os 800 MW
  - Não há informação quanto à integração de H<sub>2</sub>



## Projetos de hidrogénio na indústria da Cerâmica

### HyBrick



Localização: Reino Unido



- **Teste de cozimento de tijolos com 100% de H<sub>2</sub>**
  - Realizado pela Michelmersh através de financiamento da competição Industrial Switching.
  - Teste de cozimento de tijolos com 100% de hidrogénio
  - Objetivo de fazer retrofit de queimadores de gás natural para uso de H<sub>2</sub>



**MICHELMERSH**  
Britain's Brick Specialists

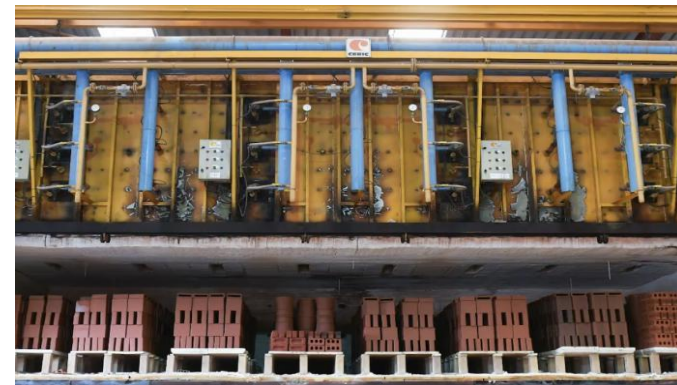
### Forterra



Localização: Reino Unido



- Teste de cozimento de tijolos com 20% de H<sub>2</sub>
  - Testes realizados em 2023 **não impactaram** nenhum dos critérios de teste (textura, cor, alta performance e durabilidade)
  - Teste realizado nos fornos de produção ao invés de uso de protótipo de teste
  - Objetivo futuro de testar outros barros de tijolos.



### GREENH2SKER



Localização: Espanha



- Descarbonização de produção cerâmica por H2 verde, eletrificação e bombas de calor
  - Parceria entre Porcelanosa e Iberdrola oficializada em 2021
  - Objetivo de reduzir emissões de carbono em 2 351 toneladas por ano



## Projetos de hidrogénio na indústria da Cerâmica

### Lucideon



Localização: Reino Unido



- **Operação de 20% de H<sub>2</sub> em forno experimental**
  - Vários produtos cerâmicos foram cozidos, incluindo tijolos, telhas e refratários
  - Queima bem sucedida com 20% e 100% de H<sub>2</sub> em fornos de 1 350 °C e 1 700 °C
  - Quando a concentração de hidrogénio excede 75%, há uma mudança significativa no comportamento de combustão, o que exige um retrofit do queimador



### Saint-Gobain



Localização: Herzogenrath, Alemanha



- **Produção teste de vidro com mistura de 30% H<sub>2</sub>**
  - O teste realizou-se em março de 2023 pela Saint-Gobain
  - Teste de viabilidade técnica bem sucedido
  - Objetivo de até 2030 fazer da utilização do hidrogénio com principal elemento descarbonizador da indústria do vidro com potencial de 70% de descarbonização





### Horizon Europe (H2Glass)


#### ▪ Descarbonização da indústria do vidro na Europa

- O projeto integra 23 parceiros em 8 países europeus diferentes, 6 demonstradores industriais e um financiamento total de 23,3 M€.
- Objetivo a longo prazo de produzir vidro com 100% de H<sub>2</sub>
- Último teste, Steklarna Hrastnik, Eslovénia, a produção de garrafas de embalagem foi testada usando H<sub>2</sub>. O teste atingiu os 100% de H<sub>2</sub>

Localização: 8 países europeus



### Schott

 Localização: Mainz, Alemanha



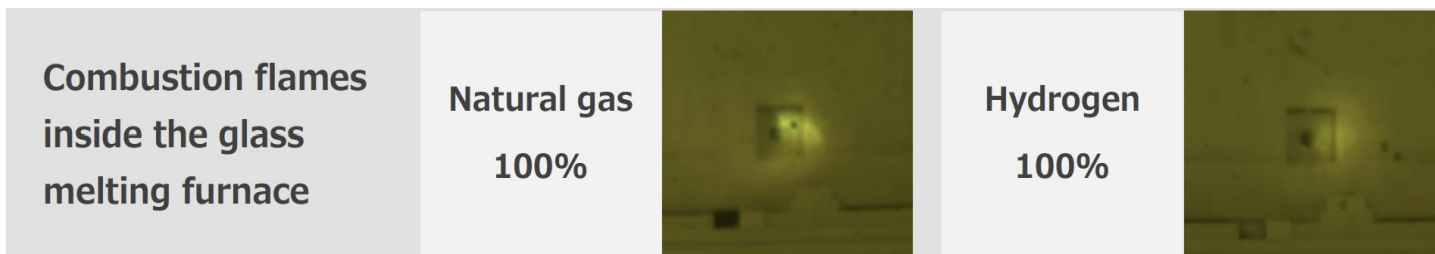
- **Teste produção de vidro com 100% H<sub>2</sub> em condições idênticas às industriais**
  - Primeiro teste piloto (2022) testou mistura de 35% de H<sub>2</sub>
  - Fusão do vidro a 1700°C e necessidade de fornecimento ininterrupto de calor
  - O uso de 100% de hidrogénio foi testado de forma constante e prolongada e verificou-se a manutenção da qualidade do vidro produzido



### AGC Japan

Localização: Japão

- **Teste produção de vidro com 100% H<sub>2</sub>**
  - Primeiro teste bem sucedido em outubro de 2023 com o apoio da Air Liquide
  - Teste para o fabrico de vidro flutuante
  - Objetivo de escalar a realização de testes com 100% de H<sub>2</sub> em outras localizações de empresas do grupo.



### SaverGlass



- **Teste produção de vidro com misturas até 30% H<sub>2</sub>**
  - Testes decorridos em setembro de 2023 pelo departamento de investigação e sustentabilidade
  - Produção de vidro de alta qualidade, de garrafas de vinho e bebidas espirituais
  - O objetivo futuro é prosseguir com a intenção de descarbonizar o processo produtivo com H<sub>2</sub>



# 4.

## Estudos de hidrogénio no setor da Cerâmica e do Vidro

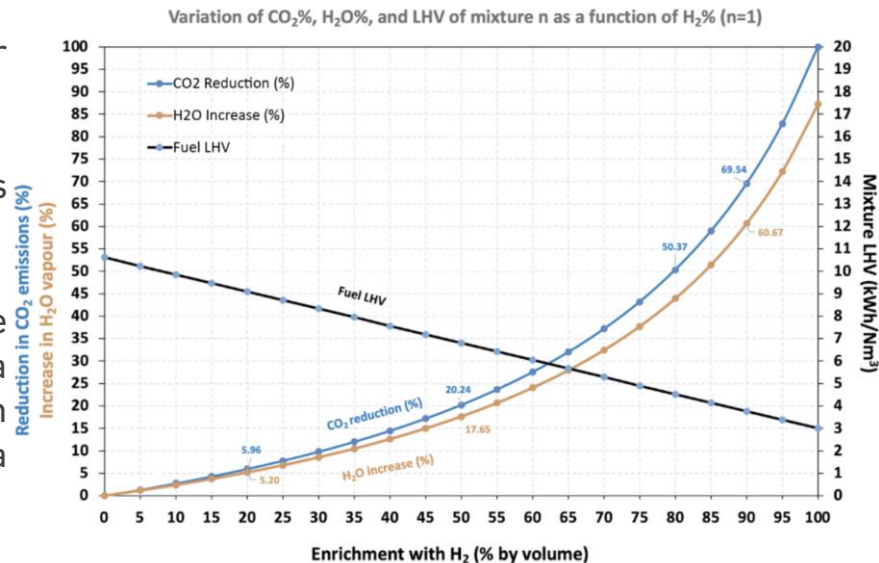


## Estudos de hidrogénio na indústria da Cerâmica

### *Impact of using hydrogen in firing ceramic tiles. A practical view*

#### Estudo sobre o impacto do aumento de vapor de água num forno de cerâmica para cozimento e vidragem

- Variação de [0, 100]% de H2 na mistura pode levar a variação de água na câmara de [18, 36]%
- Três tipos testados: grés vermelho, grés porcelânico e barro vermelho
- Os resultados demonstraram que apesar de algumas alterações secundárias como a diminuição do ponto de fusão, não houveram alterações significativas do ponto de vista estrutural



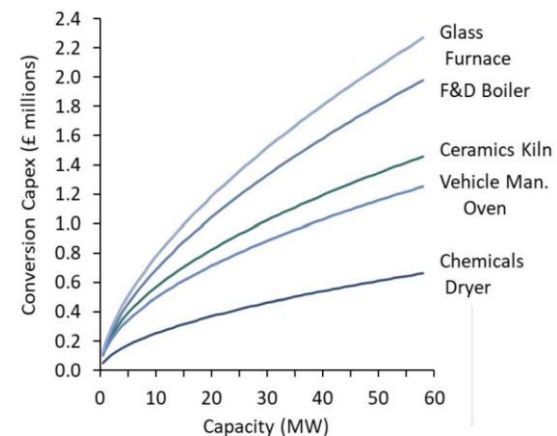
## Estudos de hidrogénio na indústria da Cerâmica

### *End-to-end system for generation and use of green hydrogen for fuel switching in ceramics manufacturing (PROGREEN H2)*

#### Estudo sobre modificações necessária a implementar para operar forno cerâmica com H<sub>2</sub>

Para um forno a operar a 1 750°C a GN foram identificadas modificações como:

- Alterações na conduta de gás
- Verificação de adequação de sistemas de deteção
- O revestimento refratário da face quente deve ser adequado à temperatura de funcionamento, assim como a estrutura para ter em atenção a temperatura de chama
- Fluxo de ar para arrefecimento do bico de queima
- Controlo VSD para ventilador do ar de combustão



## Estudos de hidrogénio na indústria da Cerâmica

### HIDROKER project, an experimental approach to the use of hydrogen for firing ceramic tiles

#### Estudo sobre utilização de H<sub>2</sub> para produção de telhas de cerâmica

Estudo liderado pelo Instituto de Tecnologia Cerâmica ITC-AICE

- A combustão de uma mistura de GN com 20% de H<sub>2</sub> foi testada
- Pesquisa futura incidirá no desenvolvimento e design de um queimador especificamente adaptado para operar com H<sub>2</sub>
- Próximos testes serão executados com 100% H<sub>2</sub>





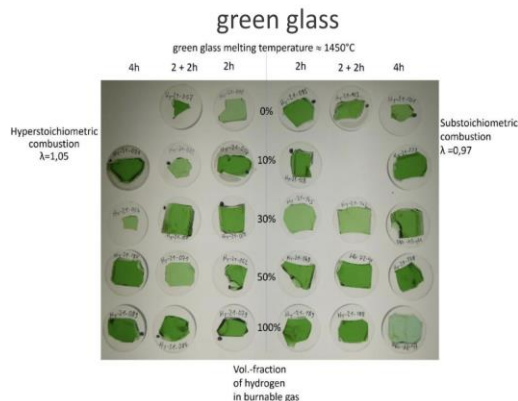
## Estudos de hidrogénio na indústria do Vidro

# Investigations into the use of natural gas / hydrogen blends and hydrogen for decarbonization in the glass industry

## Estudo sobre utilização de H<sub>2</sub> para produção de vidro

Estudo integra duas partes: estudo da variação da temperatura do forno e emissões; estudo da variação da qualidade e cor do vidro

- As percentagens de H<sub>2</sub> de integração estudadas foram [0, 10, 30, 50, 100]%
- Forno testado de 500 kW, razão de excesso de ar de 1,1 e temperatura de 1150°C
- Pontos de maior hidrogénio podem gerar fuligem



# 5.

## Estudos de biometano no setor da Cerâmica e do Vidro



## Estudos de biometano na indústria do Vidro

### Estudos Cerâmica

- Powering shuttle kilns with compressed biomethane gas for the Thai ceramic industry
- The Potential of Biogas as Fuel for High Temperature Ceramic Kiln Firing
- Deployment of treated and compressed biogas as a sustainable fuel for ceramic kiln firing
- Substitution of Natural Gas by Biomethane: Operational Aspects in Industrial Equipment

### Estudos Vidro

- Biogas as a co-firing fuel in thermal processing industries: implementation in a glass melting furnace
- Investigations on the Use of Biogas for Glass Melting

### Conclusões

- Utilização de 100% de biometano é possível, mas aconselhada a alteração do Sistema de combustão, nomeadamente da cabeça de combustão

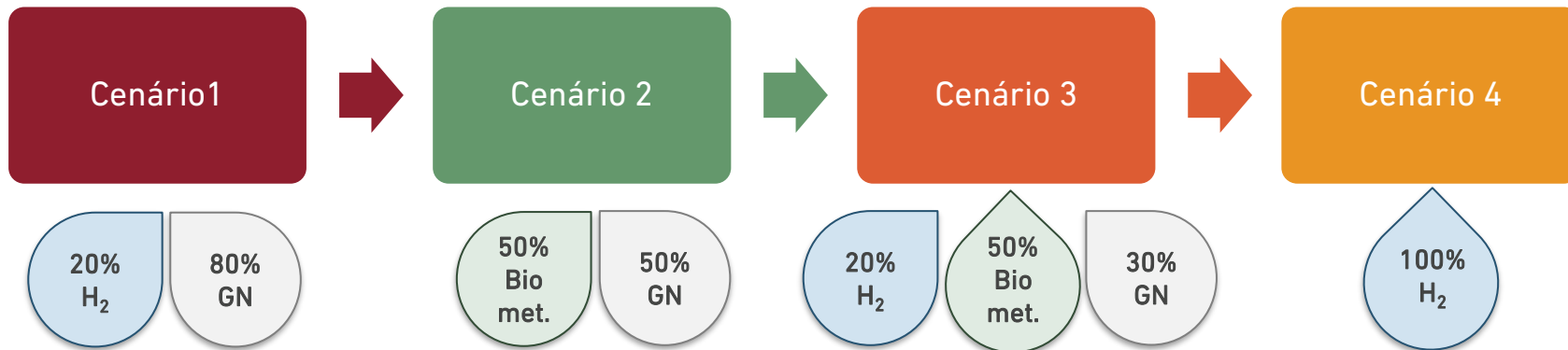
## 4.

### Introdução de gases renováveis nos setores da Cerâmica e do Vidro

- Procura de gases renováveis
- Censurização de possível integração dos gases renováveis
- Redução de emissões
- Alteração da matriz energética do mix do gás natural
- Resumo dos resultados do estudo
- Conclusões

## Cenarização de possível integração dos gases renováveis

- A descarbonização do setor do gás natural será gradual e aqui prevêem-se diferentes cenários de integração.
- O hidrogénio e o biometano, neutros carbonicamente, serão os gases reformadores do setor.
- São 4 os cenários em hipótese em adição ao **cenário 0** (uso atual de GN).
- As substituições de GN por gases renováveis são feitas **em volume**.

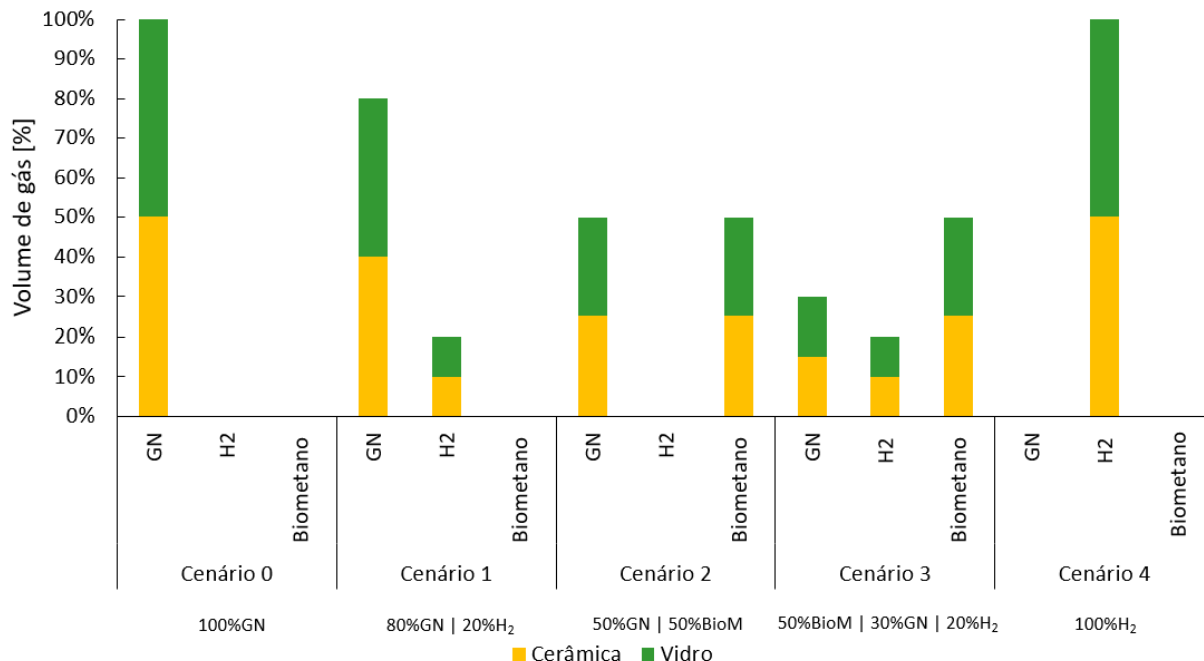


## Procura de gases renováveis

### Partição da procura de gases dos dois setores

→ Os setores do Vidro e da Cerâmica têm procuras semelhantes de gás natural (49,8% vs. 50,2%)

→ A procura de gases renováveis é, portanto, também semelhante entre os dois setores

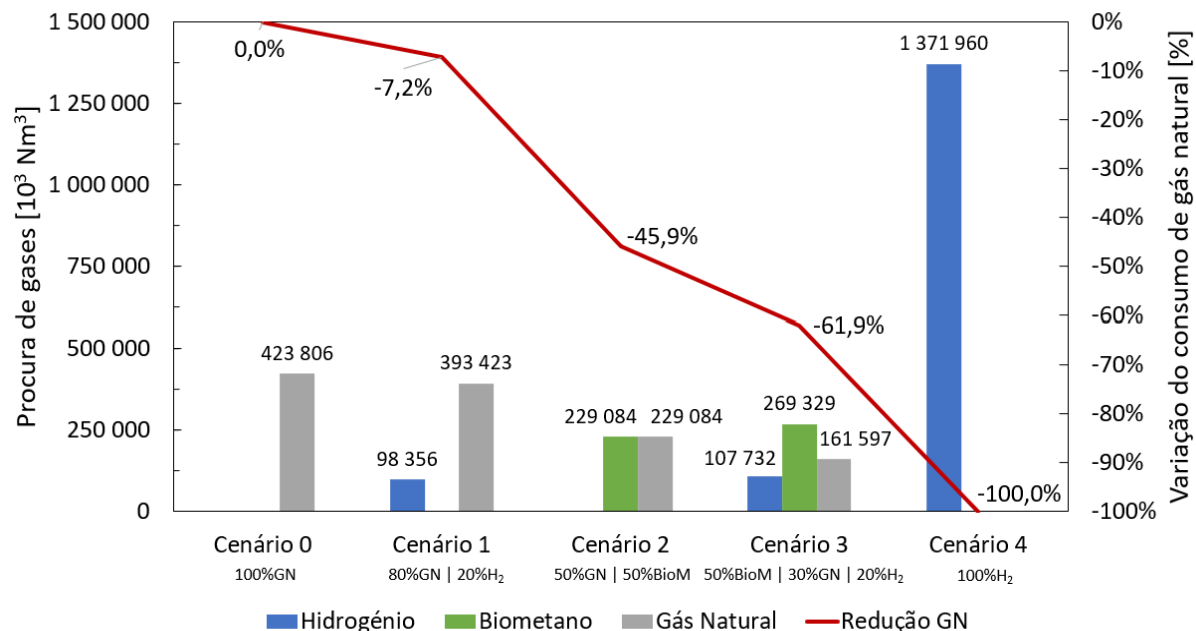


## Procura de gases renováveis

### Procura de hidrogénio e o biometano e diminuição do consumo de GN

→ O PCI do biometano é bastante próximo do GN e, portanto, o volume de GN substituído é semelhante ao de biometano que substitui.

→ Já com o H<sub>2</sub>, sendo o seu PCI cerca de 3 vezes inferior ao do GN, será necessário um maior volume de hidrogénio para substituir o mesmo conteúdo de GN.

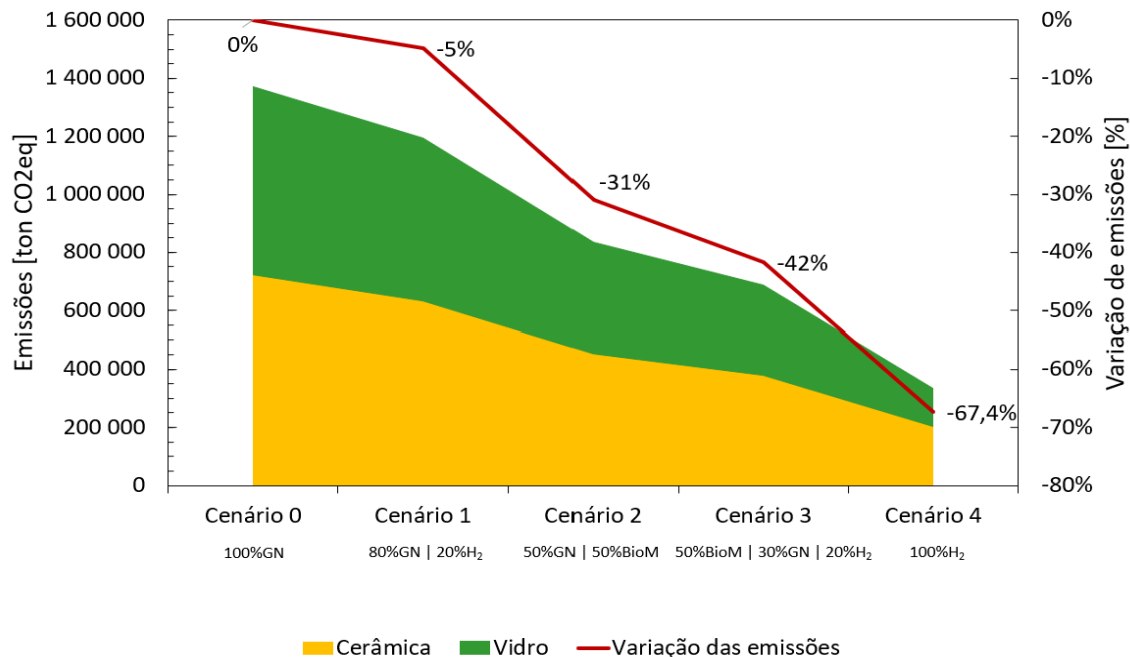


## Redução de emissões

### Emissões de CO2 do setor da Cerâmica e Vidro

→ As emissões absolutas do setor são consideravelmente diminuídas com a integração de gases renováveis.

→ O limite de redução de emissões é de 67,4 % e corresponde ao total das emissões de carbono do setor, no momento, produzidas pelo consumo de GN.



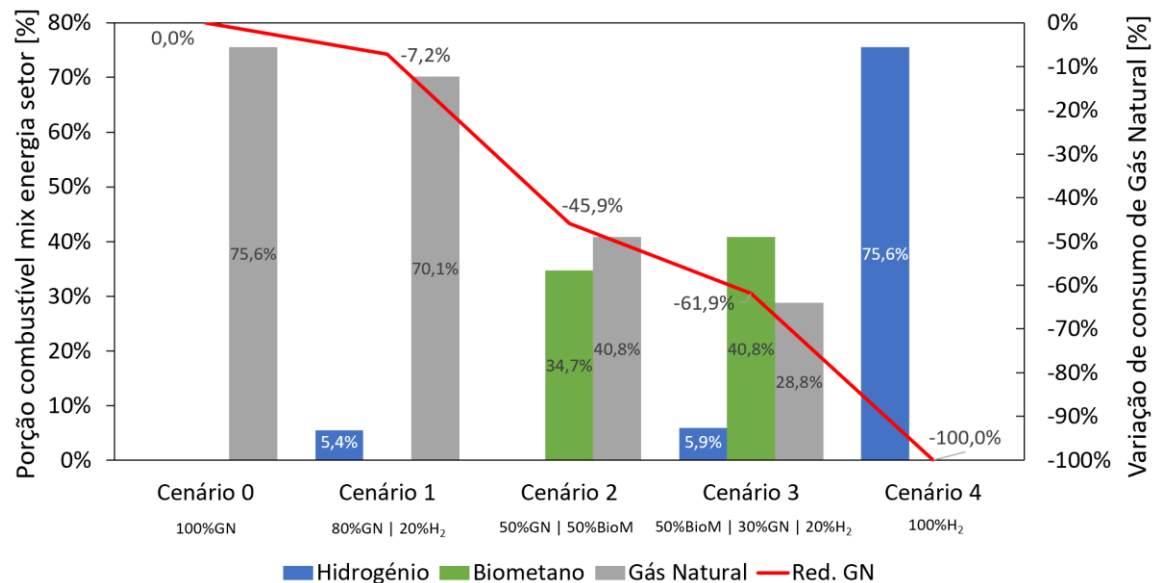


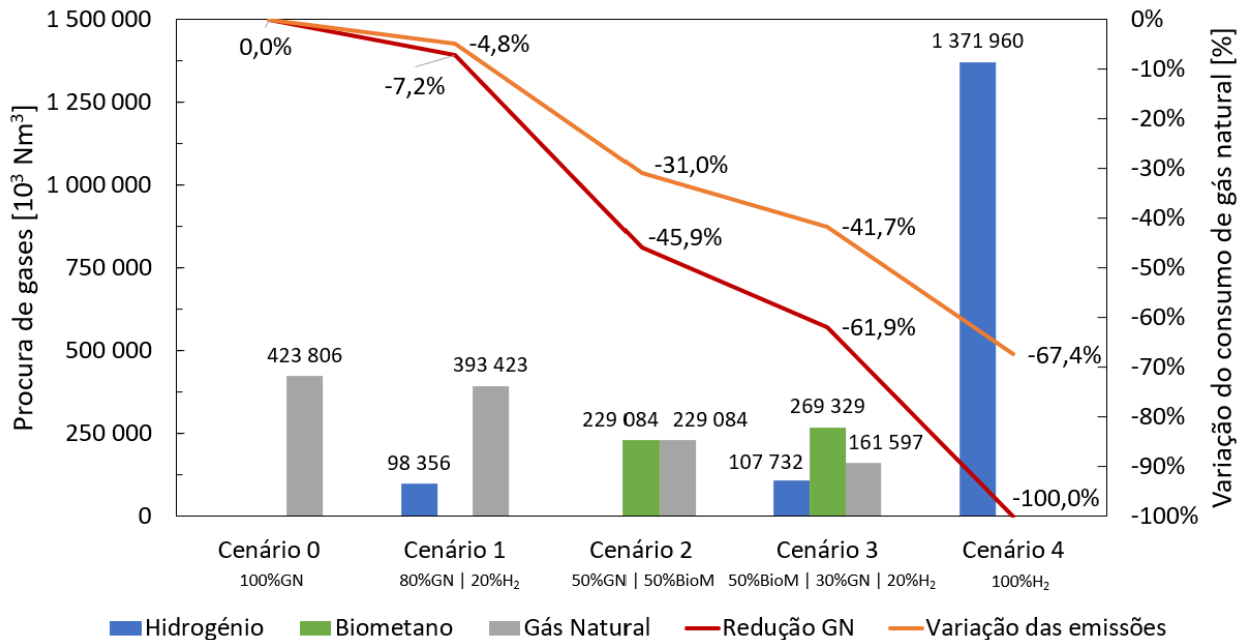
## Alteração da matriz energética do mix do gás natural

### Alteração do mix energético de gases

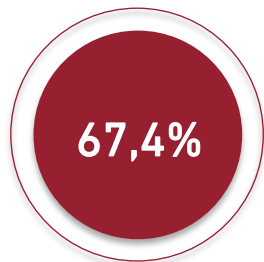
→ Como já referido, o biometano, tendo um PCI poderá bastante próximo do GN, permite influir, de forma mais destacada, na diminuição do consumo de GN.

→ O hidrogénio terá sempre uma menor influência no mix energético, ainda para mais se a percentagem de introdução for de 20% (corresponde a cerca de 6 a 7% do conteúdo energético do GN).





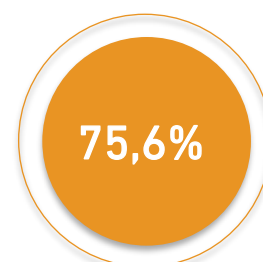
## Resumo dos resultados do estudo



Potencial de redução de emissões



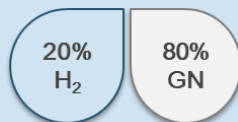
A partir do Cenário 2



Energia do setor possível de descarbonizar (GN)

## Resumo da cenarização

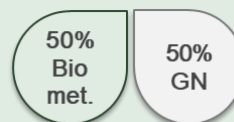
### Integração de gases renováveis no setor da Cerâmica e Vidro



→ 5,4% do mix energético total em H<sub>2</sub>

→ 4,8% de redução de emissões

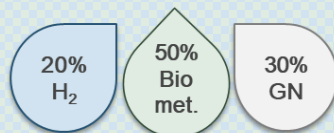
→ 98 356 10<sup>3</sup>Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>



→ 34,7% do mix energético total em biometano

→ 31% de redução de emissões

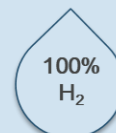
→ 229 084 10<sup>3</sup>Nm<sup>3</sup> biometano



→ 5,9% de H<sub>2</sub> e 40,8% de biometano do mix energético

→ 41,7% de redução de emissões

→ 107 732 10<sup>3</sup>Nm<sup>3</sup> de H<sub>2</sub> e 269 329 10<sup>3</sup>Nm<sup>3</sup> de biometano



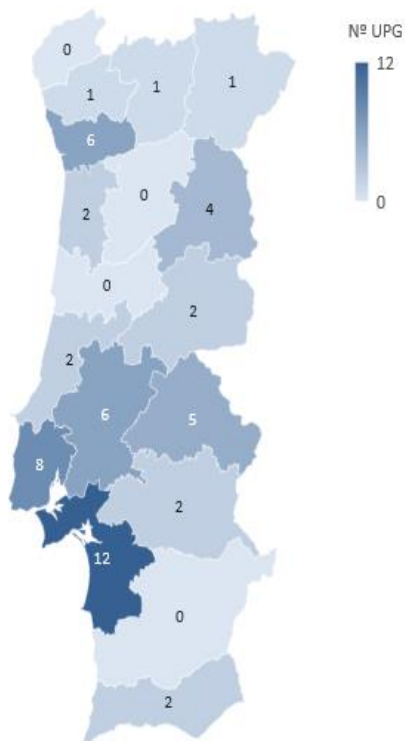
→ 75,6% do mix energético total em H<sub>2</sub>

→ 67,4% de redução de emissões

→ 1 371 960 10<sup>3</sup>Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

## Análise Produção de GR - Portugal

### Lista de Produtores com Título de Registo Prévio Atribuído



- **64** Títulos atribuídos (JAN/2024)
- Os ORD de gás têm, no conjunto, + de **100 pedidos** de ligação à rede de produtores de gases renováveis (2023)
- 3 Editais de apoio a produção de GR

### Apoios Concedidos



- 2020-21 POSEUR-01-2020-19 : **€ 40.000.000,00**, e por beneficiário era de € 5.000.000,00. Existiram 14 candidaturas ao programa.



- 01/C14-i01/2021 - Hidrogénio e Gases Renováveis (Fundo Ambiental) - O programa “Apoio à produção de hidrogénio renovável e outros gases renováveis” (PRR) de Portugal - **€ 102 000 000,00**



- 02/C14-i01/2023 - Hidrogénio e Gases Renováveis (Fundo Ambiental) - A dotação é de **€ 83.000.000,00** - **33** cumpriram os critérios, **21** “aprovadas”
- Previsão +1 edital

## Outras Iniciativas



Roteiro para a  
Descarbonização do  
Setor da Cerâmica



RODIV 2050 - Roteiro  
para a  
Descarbonização da  
Indústria de Vidro de  
Embalagem e  
Cristalaria



Agenda Ecocerâmica  
e Cristalaria de  
Portugal

Lucas Marcon | Ricardo Barbosa

[lmarcon@inegi.up.pt](mailto:lmarcon@inegi.up.pt) | [rbarbosa@inegi.up.pt](mailto:rbarbosa@inegi.up.pt)

INSTITUTO DE CIÊNCIA E INOVAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA E ENGENHARIA INDUSTRIAL

[www.inegi.pt](http://www.inegi.pt)

