



**ecocerâmica  
e cristalaria  
de portugal**

**Nuno Vitorino  
Induzir**

28 de setembro de 2023



# *Eficiência Energética na operação unitária de cozedura*



## ***Vetores para a eficiência energética***

- Isolamento Térmico;
- Otimização da densidade de enforna;
- Quantidade/tipo de mobília refratária;
- Regulação Ar-Gás;
- Ar Combustão Pré-Aquecido;
- Fornos contínuos: Vagonas vs Rolos!

# ***Eficiência energética – próximos passos!!!***

- Que tipo de sistema de queima?
- Que fonte de aquecimento?

## *Caso Estudo 1 – Isolamento térmico*



## *Caso Estudo 1 – Isolamento térmico*

| <i>Forno Túnel</i>   | <i>Forno A</i>                               | <i>Forno B</i>                   |
|----------------------|--|----------------------------------|
| Capacidade:          | 8 t/dia                                      | 8 t/dia                          |
| Largura útil:        | 1 200 mm                                     | 1 200 mm                         |
| Altura útil:         | 500 mm                                       | 500 mm                           |
| T máxima:            | 1 300 °C                                     | 1 300 °C                         |
| Ciclo                | 8 h  | 8 h                              |
| Regulação ar-gás     | Proporcional                                 | Proporcional                     |
| Espessura isolamento | 300 mm                                       | 300 mm                           |
| Tipo isolamento      | Blocos fibra<br>1430°C 190 kg/m <sup>3</sup> | Parede Tijolo composta<br>L TK M |
| Consumo horário gás: | 75 m <sup>3</sup> <sub>N</sub>               | 65 m <sup>3</sup> <sub>N</sub>   |

**8 %**

## *Caso Estudo 2 – Otimização da densidade de enforna*



*Tipicamente*

+/- 250-300 unidades / vagona

## *Caso Estudo 2 – Otimização da densidade de enforna*



250-300 unidades / vagona

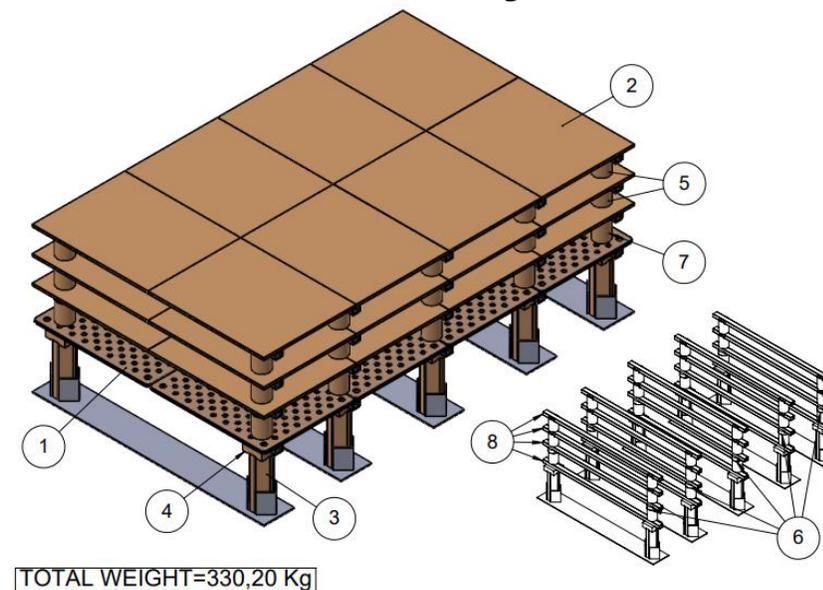
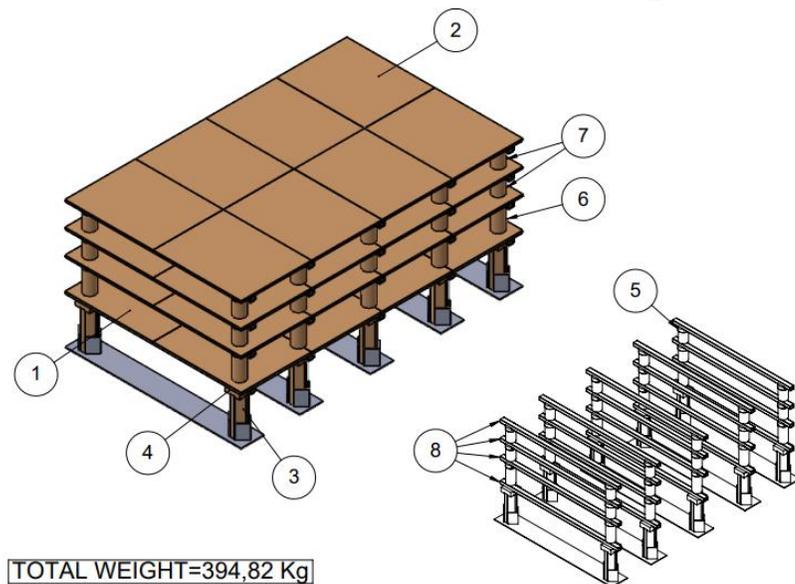
+ 60 % capacidade;  
+ 15 % Consumo Gás.



488 unidades / vagona

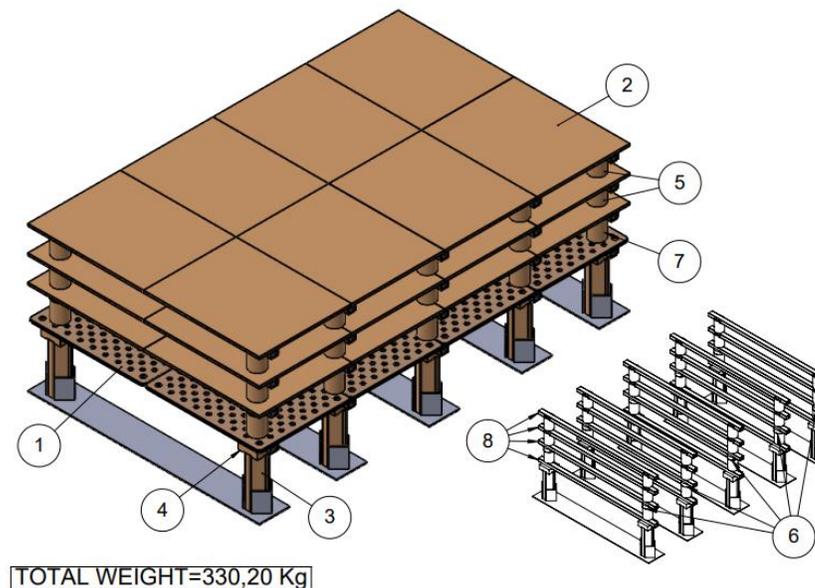
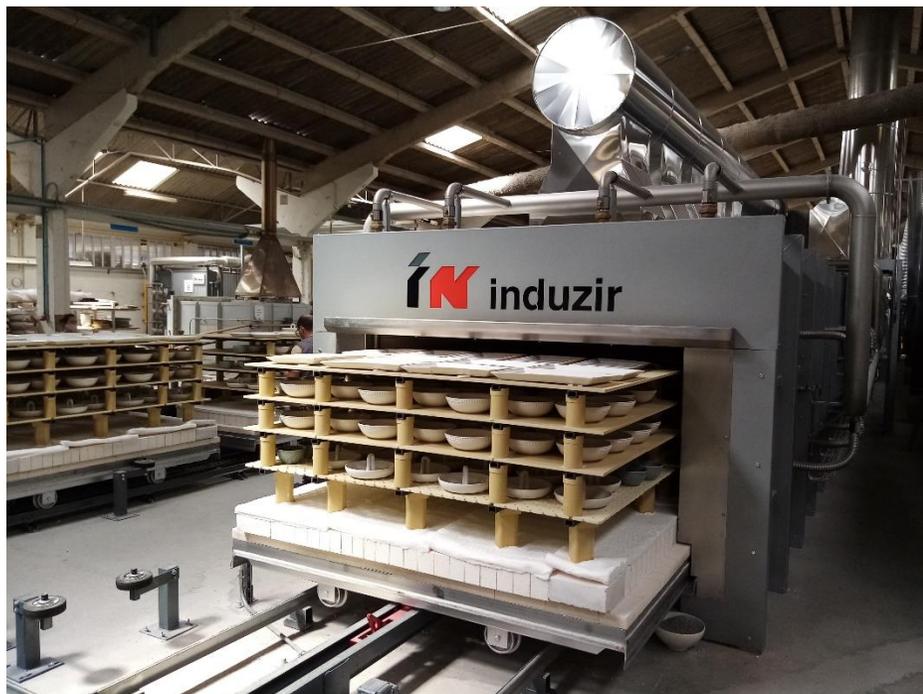
**- 30 % Consumo Específico**

## Caso Estudo 3 – Quantidade/tipo de mobília refratária



Diferença de 65 kg de refratário por vagona.

## *Caso Estudo 3 – Quantidade/tipo de mobília refratária*



## *Caso Estudo 3 – Quantidade/tipo de mobília refratária*

Forno com 40 m e ciclo de 8 h



96 vag/dia x 65 kg refratário / vag = 6 175 kg de refratário

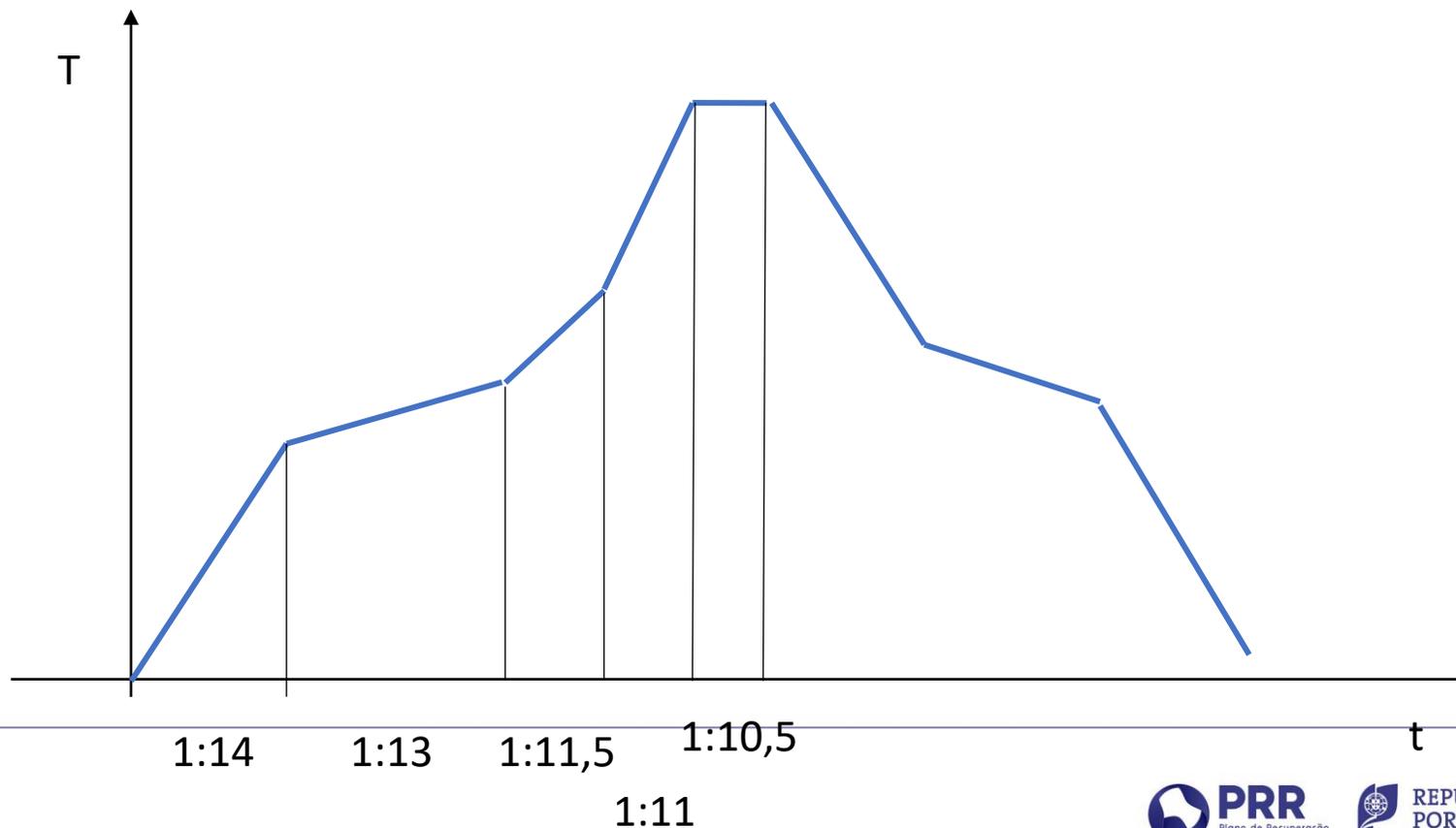
Nas condições de processo, esta quantidade de refratário que não entra no forno representa 190-200 m<sup>3</sup><sub>N</sub>. Num consumo diário de 2000 – 2200 m<sup>3</sup><sub>N</sub> representa **+/- 10% Poupança**

## *Caso Estudo 4 – Regulação Ar-Gás*

Medição dos fluxos de ar e gás, com ajuste automático

Permite em cada segmento da curva de cozedura o operador escolher a relação ar-gás que melhor se adequa ao seu produto e processo

## Caso Estudo 4 – Regulação Ar-Gás



---

## *Caso Estudo 4 – Regulação Ar-Gás*

Quantidade total de ar utilizado na combustão é muito menor

É necessário menos energia para aquecer o ar!

Poupanças de **8-12 %** - dependendo das condições operacionais

## *Caso Estudo 5 – Ar Combustão Pré-Aquecido*



## *Caso Estudo 5 – Ar Combustão Pré-Aquecido*



## *Caso Estudo 5.1 – Ar Combustão Pré-Aquecido*

### *Forno 2*

ArComb PréAq – **SIM**;

Ar-Gás: Medição fluxos

Controlo Pressão - Sim

140 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/cozedura



### *Forno 1*

ArComb PréAq – Não;

Ar-Gás: Medição fluxos

Controlo Pressão - Sim

190 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/cozedura

## Caso Estudo 5.2 - Ar Combustão Pré-Aquecido

### Cliente 1



### Cliente 2

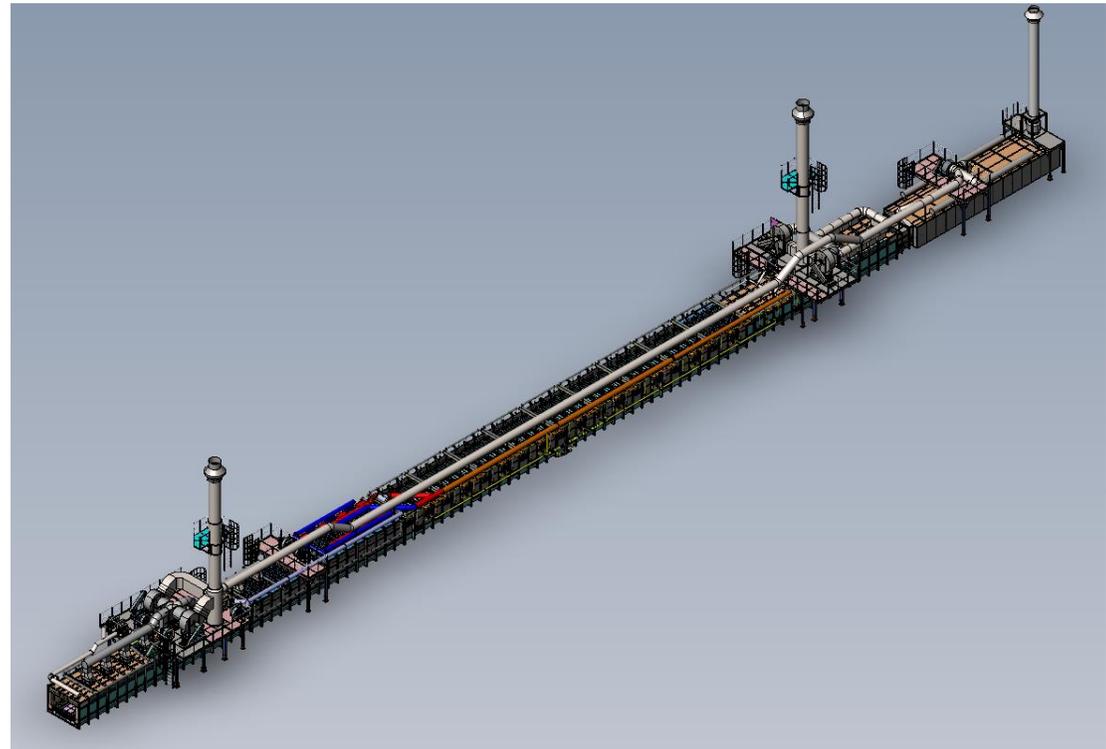


### Cliente 3



## *Caso Estudo 5.2 - Ar Combustão Pré-Aquecido*

| Forno Túnel   |          |
|---------------|----------|
| Capacidade:   | 30 t/dia |
| Largura útil: | 2 440 mm |
| Altura útil:  | 625 mm   |
| T máxima:     | 1 300 °C |
| Ciclo         | 7 h      |



## *Caso Estudo 5.3 - Ar Combustão Pré-Aquecido*

| <i>Forno Túnel</i>  | <i>Forno A</i>                    | <i>Forno B</i>                    |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Capacidade:         | 30 t/dia                          | 30 t/dia                          |
| Largura útil:       | 2 440 mm                          | 2 440 mm                          |
| Altura útil:        | 625 mm                            | 625 mm                            |
| T cozedura:         | 1 180 °C                          | 1 180 °C                          |
| Ciclo               | 7 h                               | 7 h                               |
| Regulação ar-gás    | Proporcional                      | Medição Fluxos                    |
| Ar Combustão        | T Ambiente                        | 200 °C                            |
| Rácio R:P           | 2,5:1                             | 2,5:1                             |
| Consumo diário gás: | 7 000 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> | 5 000 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> |

**28,5 %**

---

## ***Caso Estudo 6*** – Fornos contínuos: Vagonas vs Rolos!

### **State of the art do Cliente**

- Forno Vagonas
- Tempo de ciclo: ~ 7 h;
- Rácio de refratário (R:P): 3,5;
- Material Refratário: Cordierite;
- Consumo específico: 3025 kcal/kg;
- Densidade enfora: 120 kg/m<sup>3</sup>

## *Caso Estudo 6* – Fornos contínuos: Vagonas vs Rolos!

|                                     | <b>Cenário 1<br/>(F Vagonas Novo)</b>   | <b>Cenário 1<br/>(F Rolos Novo)</b>   |
|-------------------------------------|---|---|
| <b>Consumo Específico(kcal/kg)</b>  | 1 800<br>(R:P=3; cordierite)  | 1 000<br>(R:P=1,5; cordierite)  |
| <b>Redução consumo</b>              | <b>35 - 40 %</b>  | <b>60 - 65 %</b>  |
| <b>Vantagens &amp; Desvantagens</b> | + Solução já demonstrada;<br>+ Redução Consumo;<br>+ Versátil em termos de produto;<br>+ versátil em termos de produção | + + Redução Consumo;<br>- Versatilidade Produto;<br>- Versatilidade Produção;<br>+ Ciclos + rápidos |

## ***Eficiência energética – próximos passos!!!***



## ***Eficiência energética – próximos passos!!!***

|                                    | Cozedura a Gás Natural           | Cozedura Elétrica | Observações  |
|------------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|
| <b>Cozedura Chacota<br/>750 °C</b> | 77 m <sup>3</sup> N => 810 kWh   | 340 kWh           | <b>- 58%</b> |
| <b>Cozedura Vidro<br/>1 150 °C</b> | 135 m <sup>3</sup> N => 1420 kWh | 620 kWh           | <b>- 56%</b> |

## ***Eficiência energética – próximos passos!!!***

E agora?

- Massificar os testes;
- Resolver detalhes de aplicação e montagem;



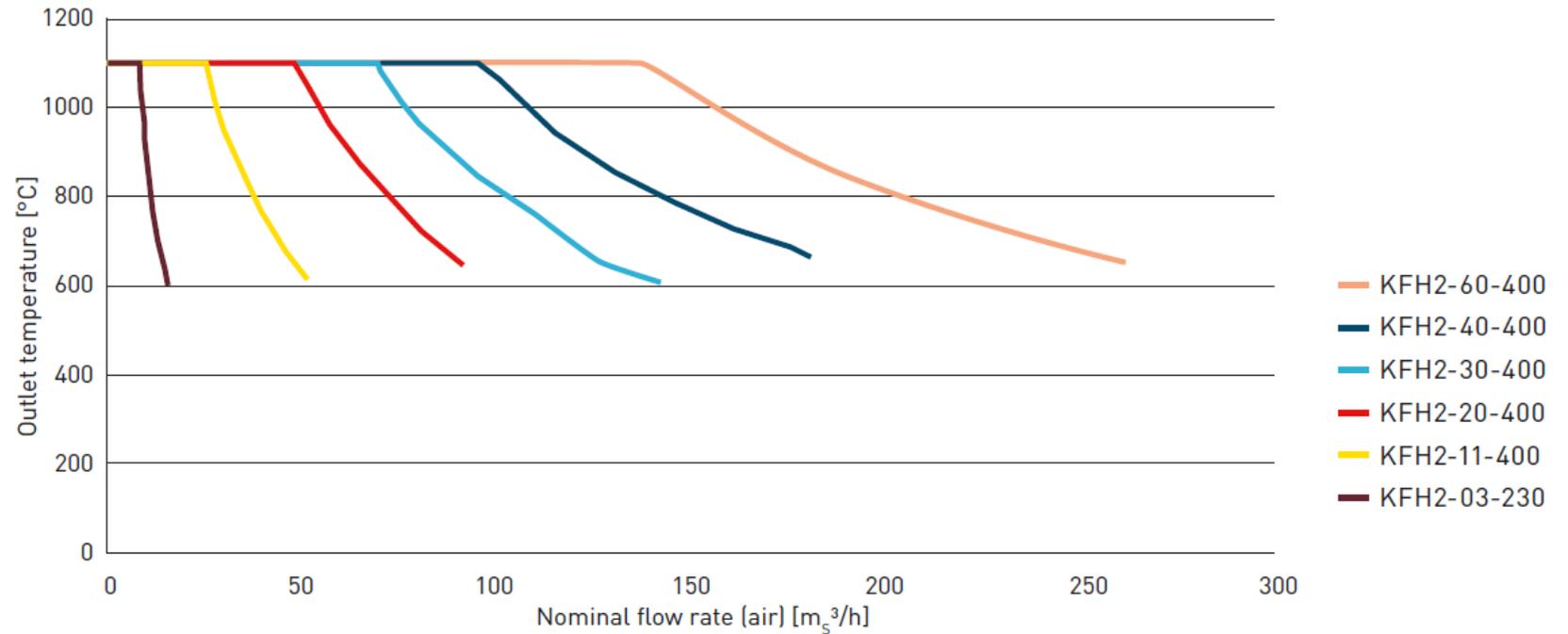
- Evoluir para a análise em equipamentos contínuos

## ***Destques:***

- O tema da eficiência energética deve ser analisado caso a caso;
- A performance das medidas nem sempre são transversais pois dependem da envolvente do processo;
- Há medidas com impacto relevante com custos de implementação relativamente baixos
- Há casos comprovados de reduções de consumo energético superior a 50 %.

# Eletrificação de processos/Fornos Elétricos - próximos passos!!!

PERFORMANCE CURVES

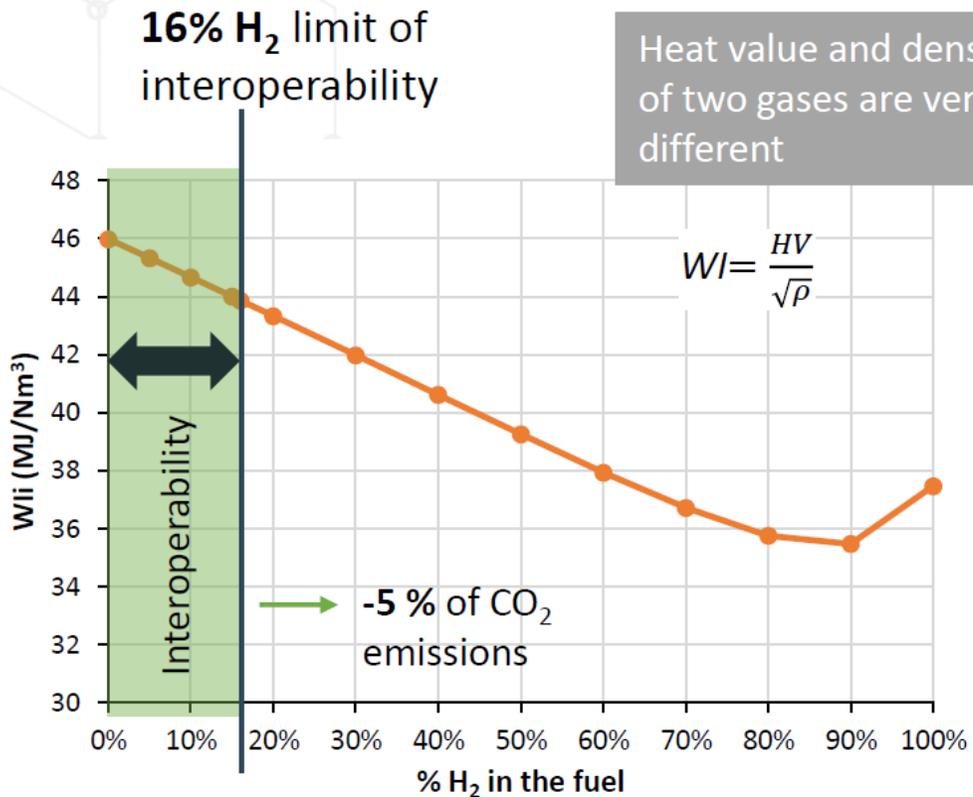


# Descarbonização via “H<sub>2</sub>”

Equipamentos existentes vs novos/atuais!

Quais os impactos?

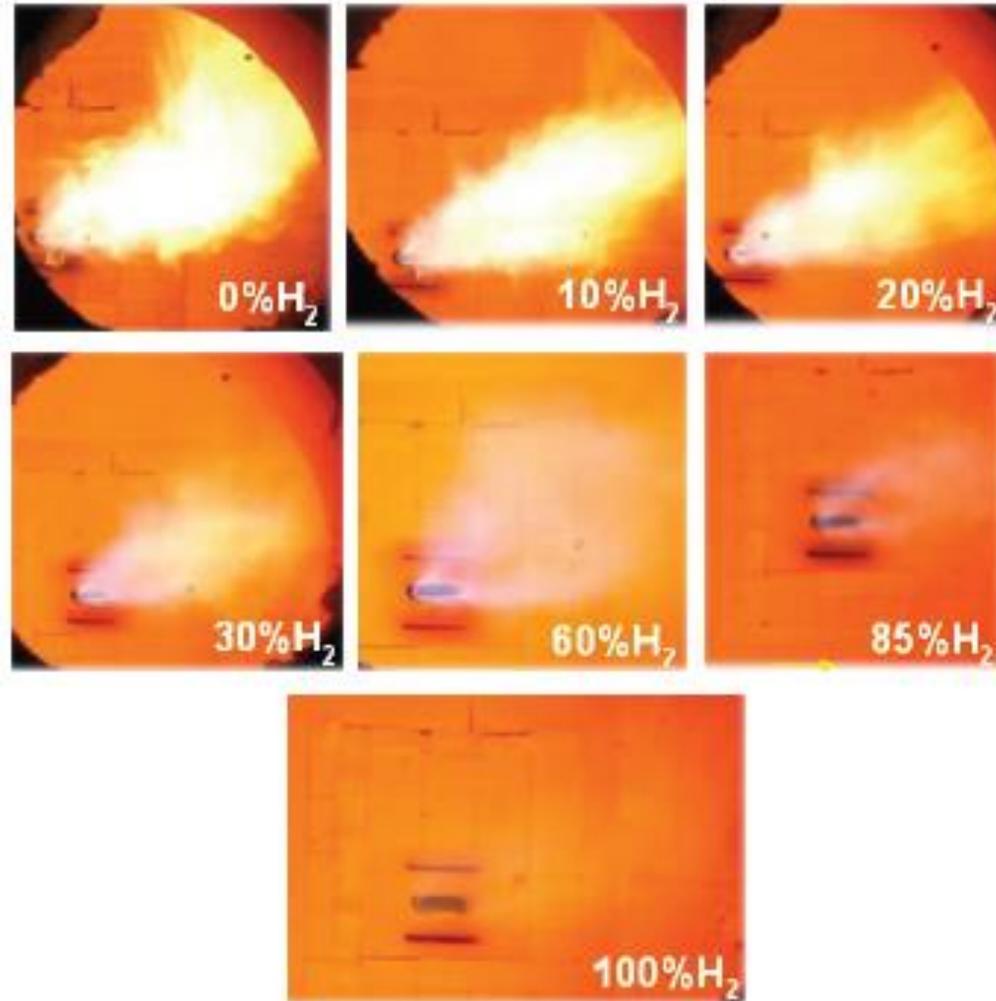
## Limits of existing equipment



Variations of the Wobbe Index of about 5% are possible without the need to change burners.

Using current technology, **16% H<sub>2</sub>** is **maximum that can be added to NG**

**5% emission reduction** – still a long way from the decarbonization.



Flame comparison for the ThermJet TJ with a rating of 213 kW,  $\lambda = 1.15$



*100% natural gas*



*Ratio of natural gas/hydrogen  
40/60*

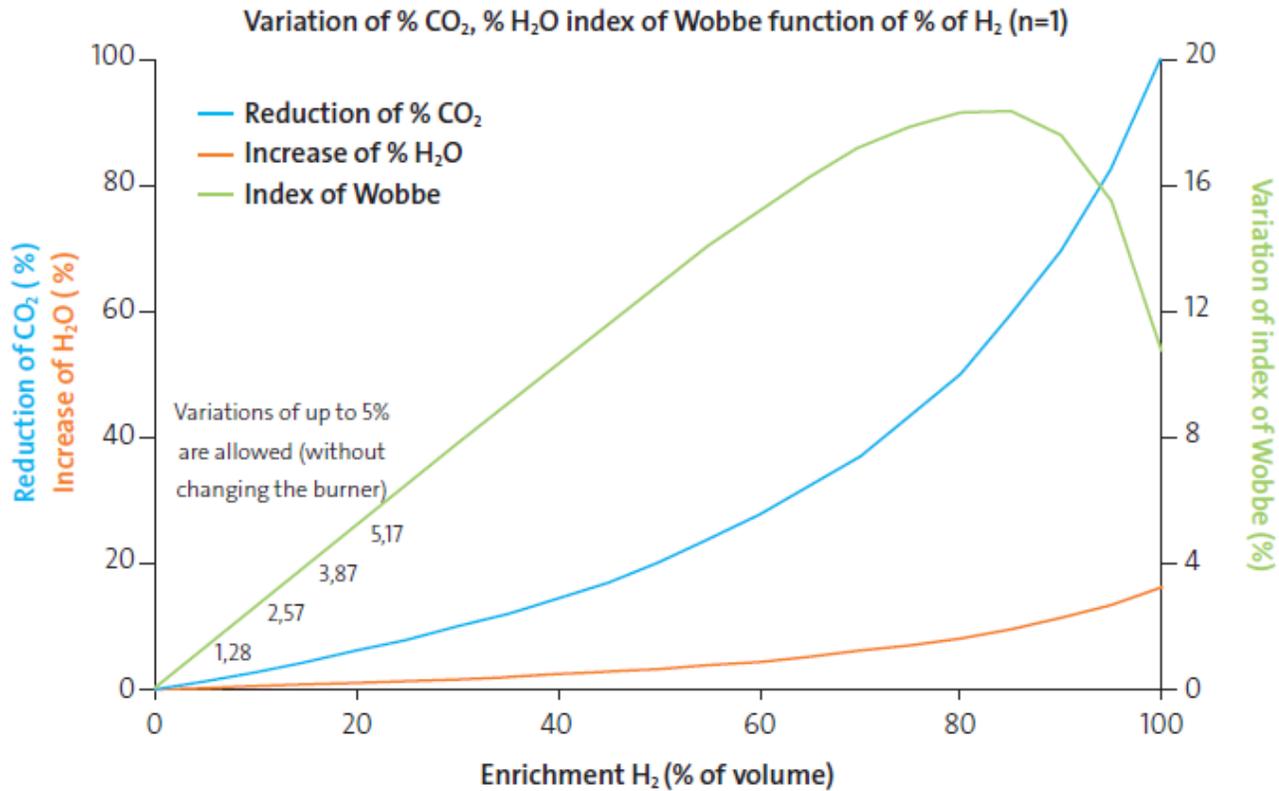


*Ratio of natural gas/hydrogen  
20/80*



*100% hydrogen*

Figure 1. Variation of the composition of the products of complete combustion ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) and variation of the Wobbe Index, for different mixtures of natural gas and hydrogen.



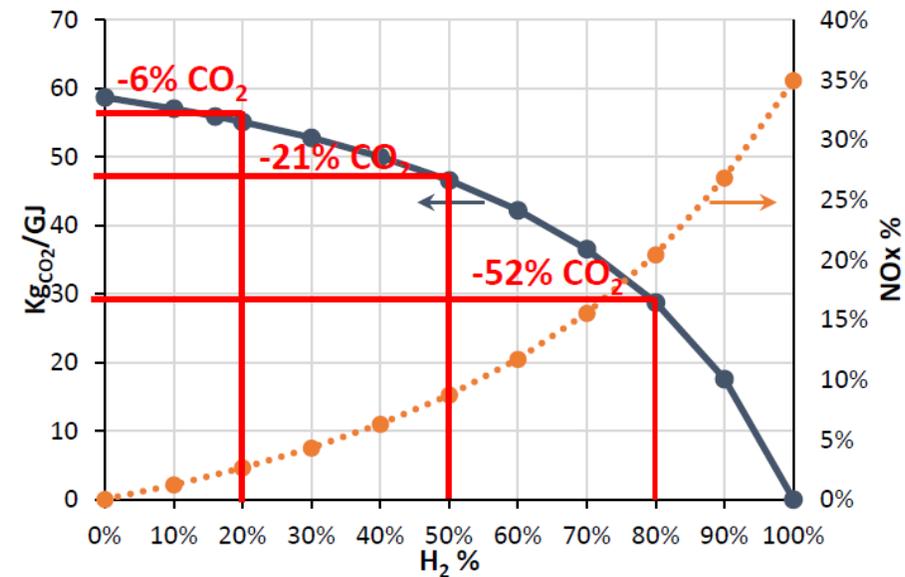
The exhaust gases must be at a higher temperature than the condensing temperature. Quantity of **water increases about 20%**, but at the same time the **condensation temperature increases**.

The condensation temperature also depends on the air-fuel ratio.

# Emissions



- In a mixture with 80% H<sub>2</sub> we achieve a reduction of 52% CO<sub>2</sub>.
- **Only above 80% H<sub>2</sub> the emission reduction is significant.**
- **35% increase of NOx formation**, the emission can be avoided by:
  - Reducing the O<sub>2</sub> in the combustion- less oxidation of the N<sub>2</sub> to NOx.
  - Recirculation of the combustion gases, for reforming.



# *H<sub>2</sub>, com que dispositivos?*

## Honeywell

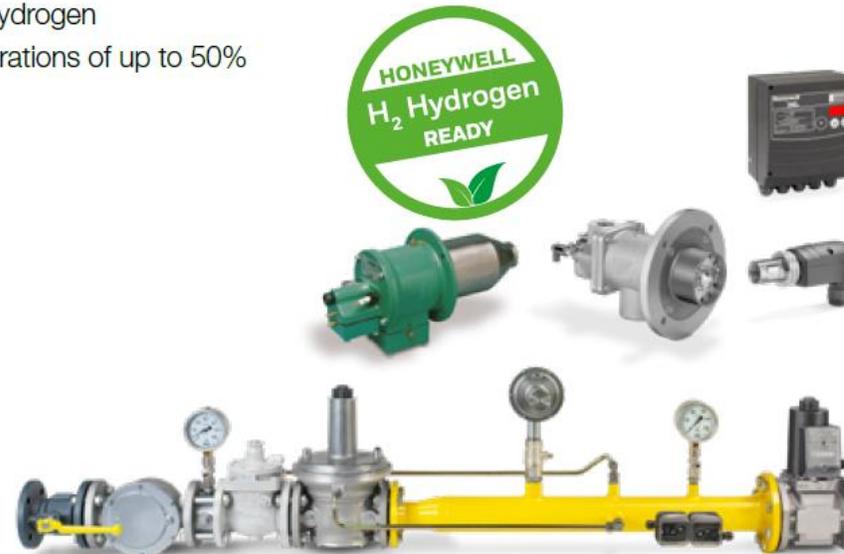




## Products for hydrogen H<sub>2</sub>

### TECHNICAL INFORMATION

- Almost all controls suitable for 100% hydrogen
- Most burners can be used for concentrations of up to 50% hydrogen.
- Can be used with old plants



## *H<sub>2</sub>, com que dispositivos?*

| Type                             | Name   | 100% H <sub>2</sub> |
|----------------------------------|--|---------------------|
| <b>Manual valves and filters</b> |  |                     |
| AKT                              | Manual valves                                      | ✓                   |
| TAS                              | Thermal equipment trips                            | ✓                   |
| GFK                              | Gas filters  | ✓                   |
| <b>Pressure regulators</b>       |  |                     |
| J78R                             | Gas pressure regulators                            | ✓                   |
| GDJ                              | Gas pressure regulators                            | ✓                   |
| VGBF                             | Gas pressure regulators                            | ✓                   |
| JSAV                             | Safety shut-off valves                             | ✓                   |
| VSBV                             | Relief valve                                       | ✓                   |
| VAR                              | Circulation pressure control and relief regulators | ✓                   |
| GIK, GIK..B                      | Air/gas ratio controls                             | ✓                   |
| GIKH                             | Variable air/gas ratio controls                    | ✓                   |

| Type                               | Name  | 100% H <sub>2</sub> |
|------------------------------------|---|---------------------|
| <b>Valves and butterfly valves</b> |   |                     |
| VAS                                | Gas solenoid valves                                 | ✓                   |
| VCS                                | Double solenoid valves                              | ✓                   |
| VAD                                | Pressure regulators with solenoid valve             | ✓                   |
| VAG                                | Air/gas ratio controls with solenoid valve          | ✓                   |
| VAH                                | Flow rate regulators with solenoid valve            | ✓                   |
| VRH                                | Flow rate regulators                                | ✓                   |
| VAV                                | Variable air/gas ratio controls with solenoid valve | ✓                   |
| VBY                                | Bypass valves                                       | ✓                   |
| VMV                                | Fine-adjusting valves                               | ✓                   |
| VMO                                | Measuring orifices                                  | ✓                   |
| VMF                                | Filter modules                                      | ✓                   |
| VGP                                | Gas solenoid valves                                 | ✓                   |
| VG                                 | Gas solenoid valves                                 | ✓                   |
| VAN                                | Magnetic relief valves                              | ✓                   |

# *H<sub>2</sub>, com que dispositivos?*

## 3.2 Burners

| Type                 | Name                                      | 50% H <sub>2</sub> * | 30 % H <sub>2</sub> |
|----------------------|---|----------------------|---------------------|
| ZAI                  | Pilot burners                             | ✓                    | ✓                   |
| ZMI (C)              | Pilot burners                             | ✓                    | ✓                   |
| ZKIH                 | Pilot burners                             | ✓                    | ✓                   |
| ZIO 40               | Pilot burners                             | ✓                    | ✓                   |
| ZT 40                | Pilot burners                             | ✓                    | ✓                   |
| ZTA                  | Pilot burners                             | ✓                    | ✓                   |
| ZTI                  | Pilot burners                             | ✓                    | ✓                   |
| BIO, BIC, BIOW, BICW | Burners                                   | ✓                    | ✓                   |
| BIOA, BICA           | Burners                                   | ✓                    | ✓                   |
| ZIO, ZIC, ZIOW, ZICW | Burners                                   | ✓                    | ✓                   |
| BIO(W), BIC(W)       | With pilot burner                         | ✓                    | ✓                   |
| ZIO(W), ZIC(W)       | With pilot burner                         | ✓                    | ✓                   |
| BIC..MB              | Burners                                   |                      |                     |
| BICR                 | Burners                                   | ✓                    | ✓                   |
| GLG, GLA, GLH        | Burners for bell-type an-nealing furnaces | ✓                    | ✓                   |
| ECOMAX               | Self-recuperative burners                 | ✓                    | ✓                   |



Financiado pela  
União Europeia  
NextGenerationEU



**Together,**  
creating a better  
**tomorrow!**



Financiado pela  
União Europeia  
NextGenerationEU