

MAIS DE 35 ANOS
A CONVERTER
CONHECIMENTO
EM VALOR

Plano de Ação Setorial | Descarbonização do Setor Metalúrgico e Metalomecânico

Indústria de Futuro | Seminário Metalurgia e Metalomecânica

Ricardo Barbosa

25 | 01 | 2024



ÍNDICE

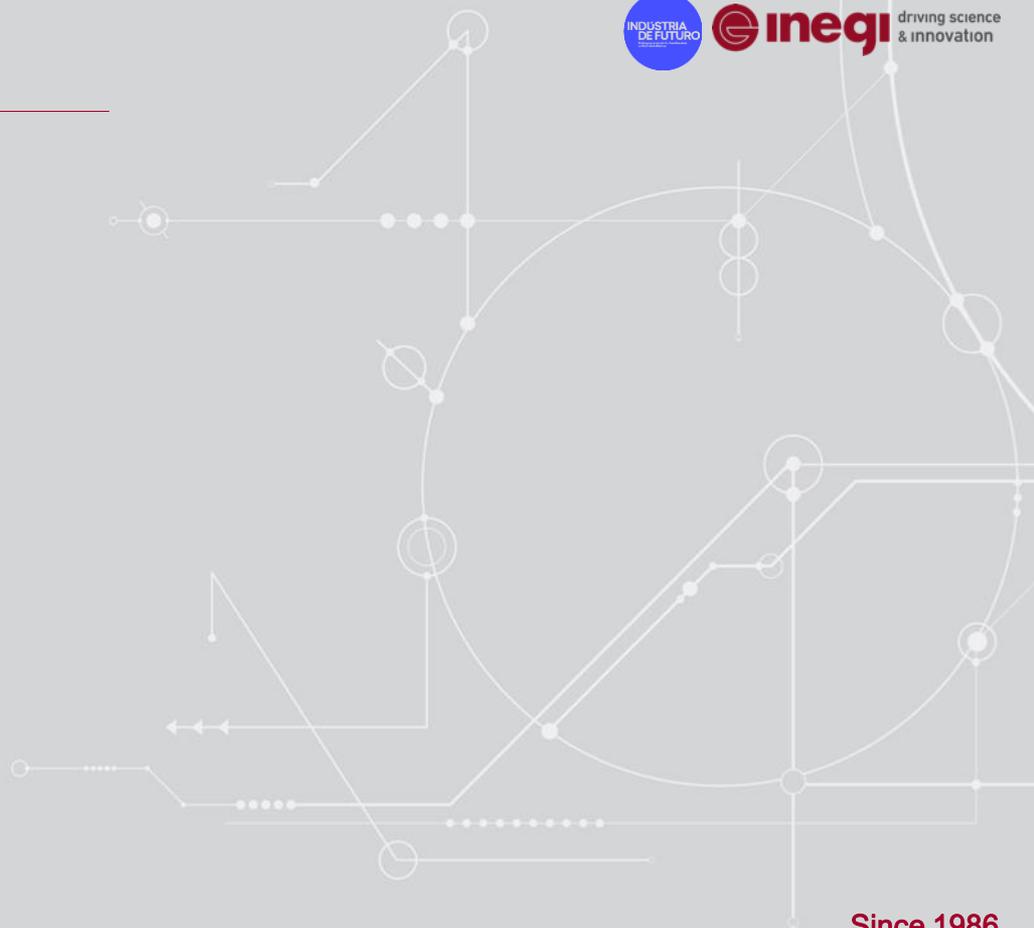
1. O uso de Energia no Setor Metalúrgico e Metalomecânico | Situação atual
2. Metas de Descarbonização
3. Plano de ação para descarbonização dos processos térmicos industriais do Setor
 - i. Eficiência energética
 - ii. Integração de fontes renováveis de Energia Renováveis para calor de processo
 - iii. Gases Renováveis
 - i. Hidrogénio Verde
 - ii. Biometano
4. Cenarização de possível integração dos gases renováveis
5. Debate e ideias a reter

Since 1986



1.

O uso de Energia no Setor Metalúrgico e Metalomecânico | Situação atual



O uso de Energia no Setor Metalúrgico e Metalomecânico | Situação atual



10%

Consumo de gás natural do setor metalo-mecânico

O setor metalo-mecânico é responsável por 10% do consumo de gás natural na indústria transformadora.



11%

Energia consumida do setor metalo-mecânico

O setor metalo-mecânico usa cerca de 11% de toda a energia usada na indústria transformadora.



12%

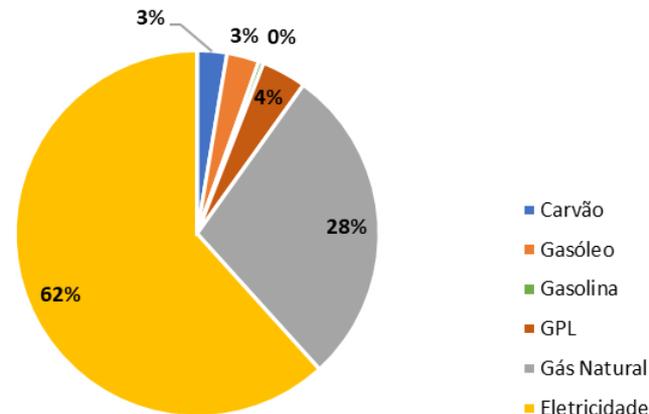
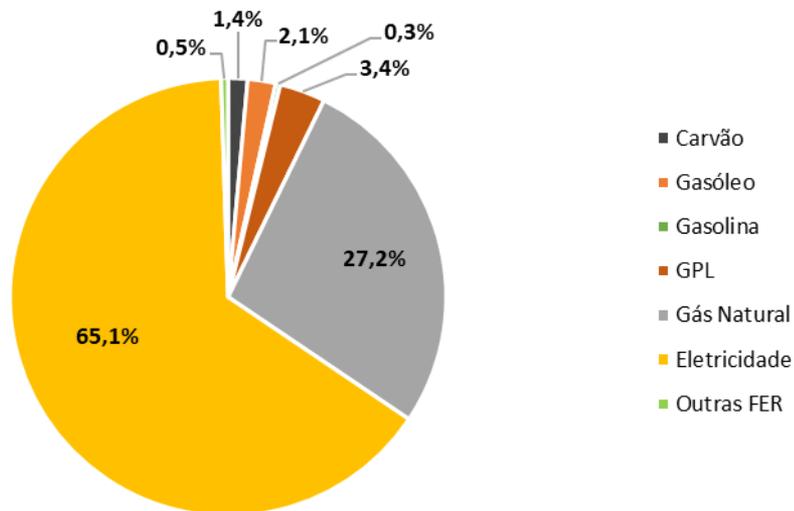
Emissões do setor metalo-mecânico

O setor metalo-mecânico é responsável por 12% das emissões de toda a indústria transformadora.

O uso de Energia no Setor Metalúrgico e Metalomecânico | Situação atual

Energia final

Predominância no uso de eletricidade e gás natural, em termos de energia final (92,3%).



A maior parte das emissões de GEE associadas ao setor provém principalmente da eletricidade e do gás natural, totalizando aproximadamente 87%.

O uso de Energia no Setor Metalúrgico e Metalomecânico | Situação atual

Processos consumidores de gás natural

O foco do setor passa por processos consumidores de gás natural como:

- Fundição
- Tratamentos térmicos
- Tratamentos de superfícies

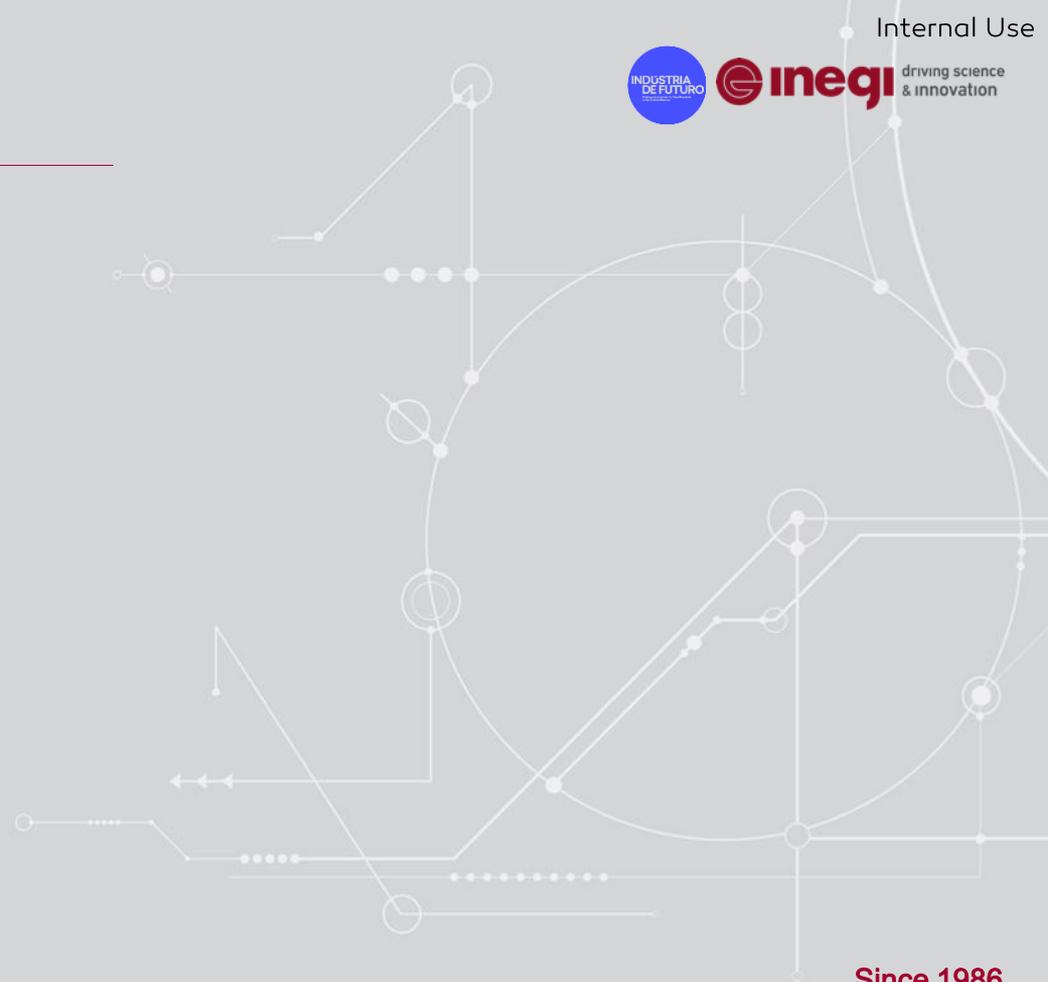
Equipamentos em destaque nos processos acima referidos:

- Fornos
- Estufas/secadores
- Caldeiras para produção de vapor



2.

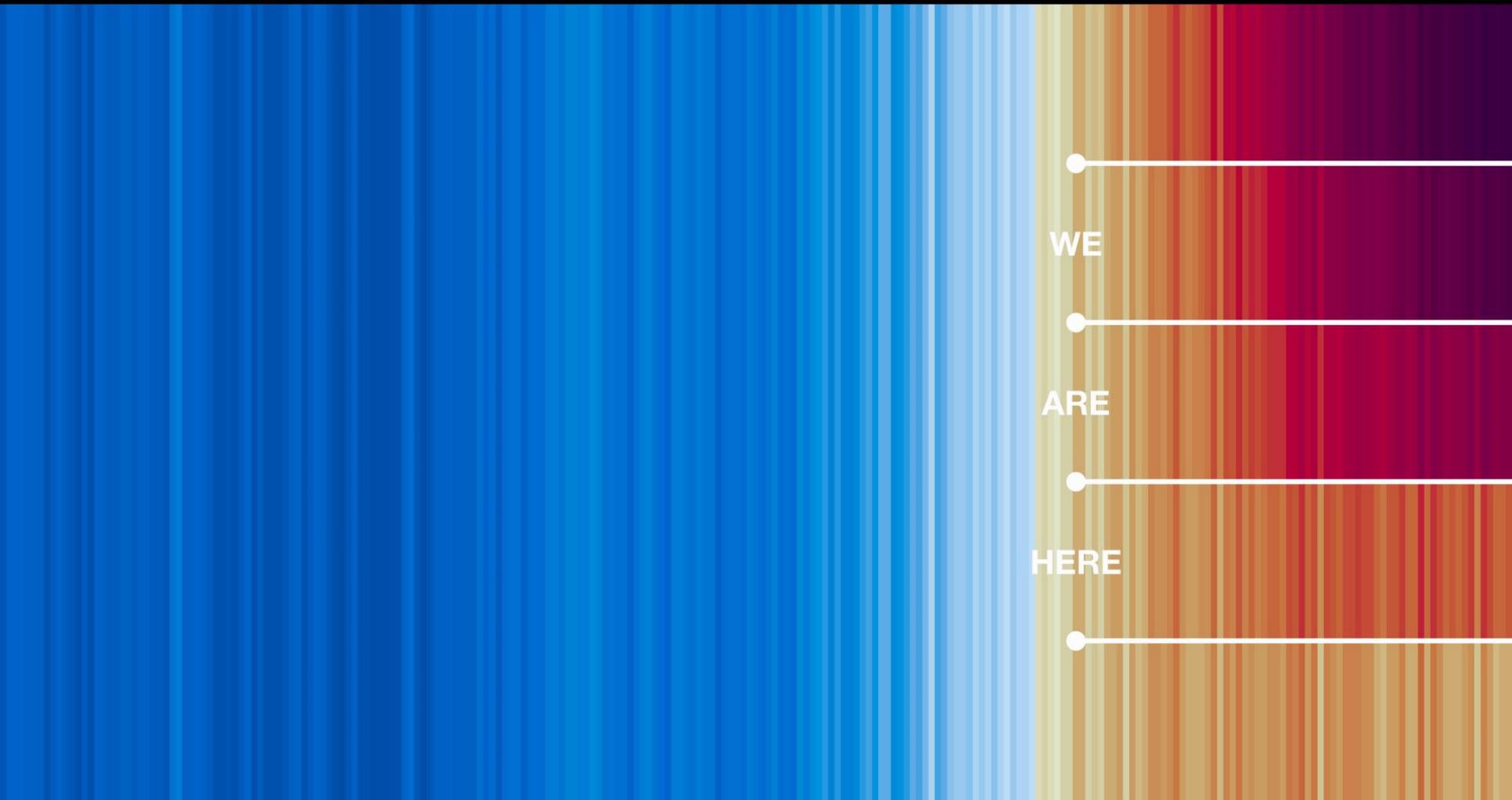
Metas de Descarbonização da Indústria



Since 1986

Global temperature change since 1850

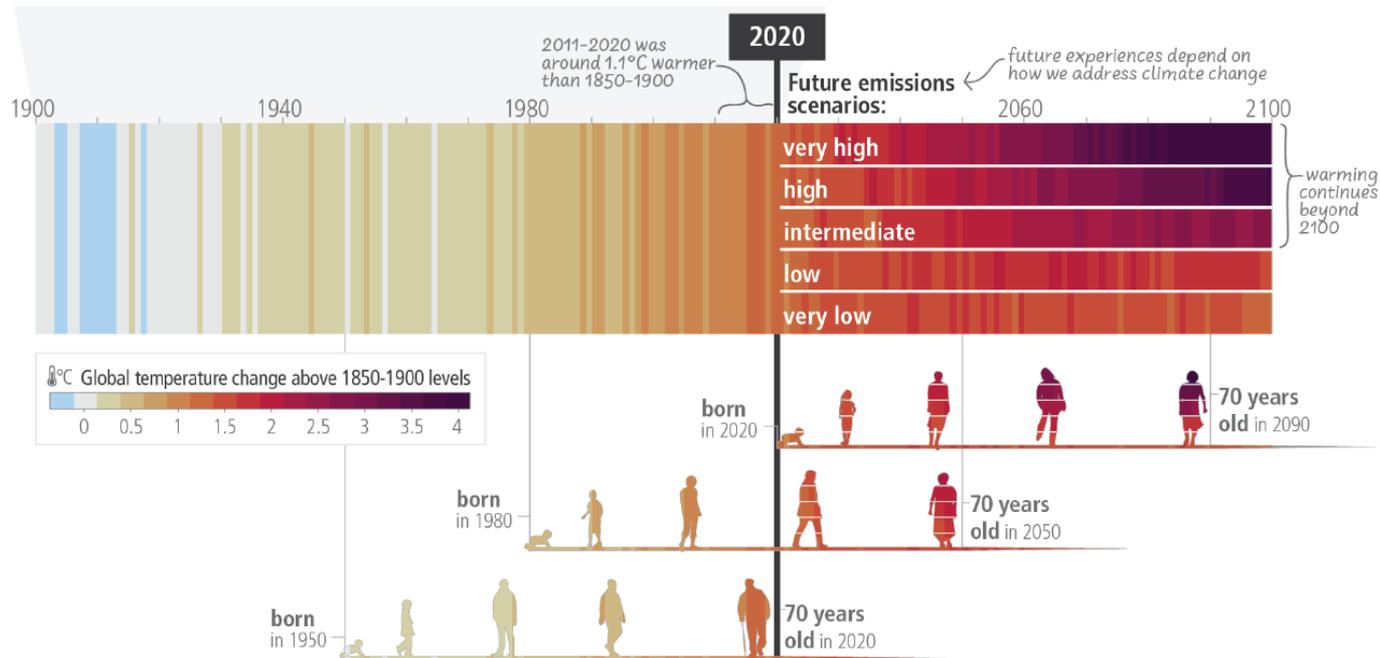
Future choices up to 2100



Metas de Descarbonização da Indústria

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

IPCC 6th Assessment Report – Principais conclusões



Metas de Descarbonização da Indústria

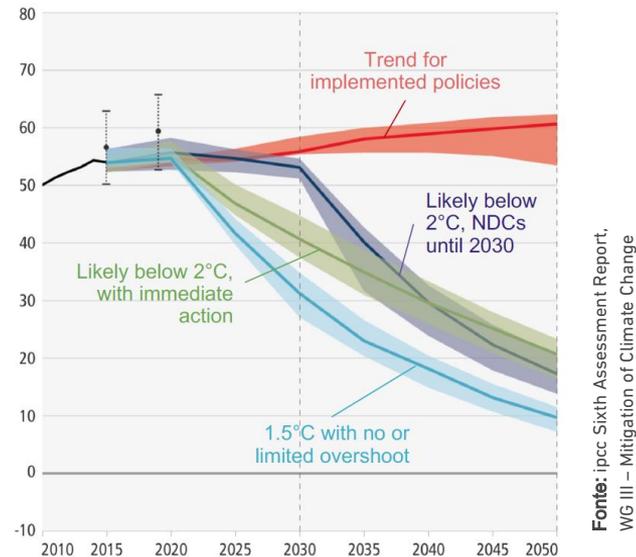
ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

IPCC 6th Assessment Report – Principais conclusões

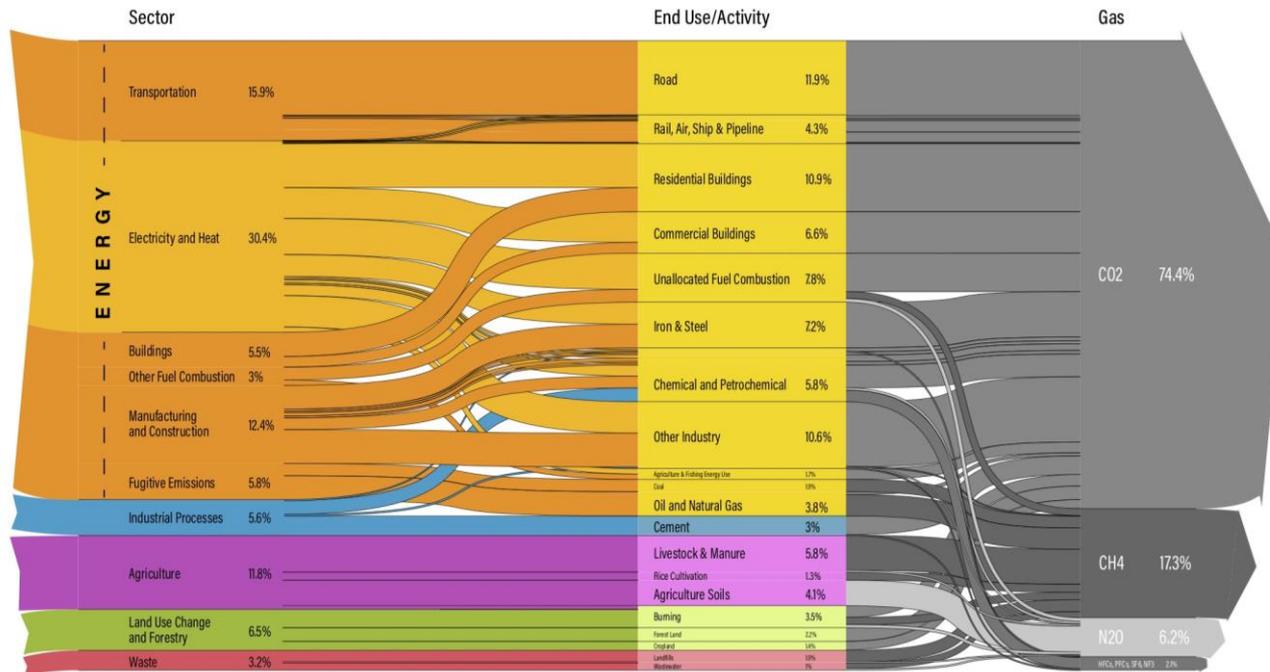
“Unless there are **immediate** and **deep** emissions reductions across all sectors, 1.5°C is beyond reach.”

Limitar o **aquecimento global a 1.5°C** implica...
 ... atingir o pico de emissões de GEE antes de 2025
 ... reduzir 43% até 2030
 ... neutralidade carbónica em 2050.

Limitar o **aquecimento global a 2.0°C** implica...
 ... atingir o pico de emissões de GEE antes de 2025
 ... reduzir 27% até 2030
 ... neutralidade carbónica em 2070.



Metas de Descarbonização da Indústria



Source: Greenhouse gas emissions on Climate Watch. Available at: <https://www.climatewatchdata.org>



Metas de Descarbonização da Indústria

COMPROMISSOS EUROPEUS E NACIONAIS

Acordos, metas, e planos

Covid-19

Conflito na Ucrânia

2015

ACORDO DE PARIS

Exige um esforço conjunto de todos os países na luta contra as alterações climáticas.

O acordo inclui obrigação de um plano de ação com objetivos de longo-prazo, contributos nacionais pré-definidos.

2019

PACTO ECOLÓGICO EUROPEU

A ambição de ser o primeiro continente com um impacto neutro no clima, garantindo que:

- As emissões de GEE sejam nulas em 2050
- Crescimento económico esteja dissociado da utilização de recursos
- Ninguém é deixado para trás

2021

FIT FOR 55

Aumento da ambição, com propostas específicas para preparar os diferentes setores para enfrentarem o desafio da transição.

2022

REPowerEU

Ação europeia conjunta para uma energia mais acessível, segura e sustentável. Poderá implicar a revisão de Diretivas e Regulamentos-chave que foram definidos/revistos no âmbito do pacto ecológico europeu

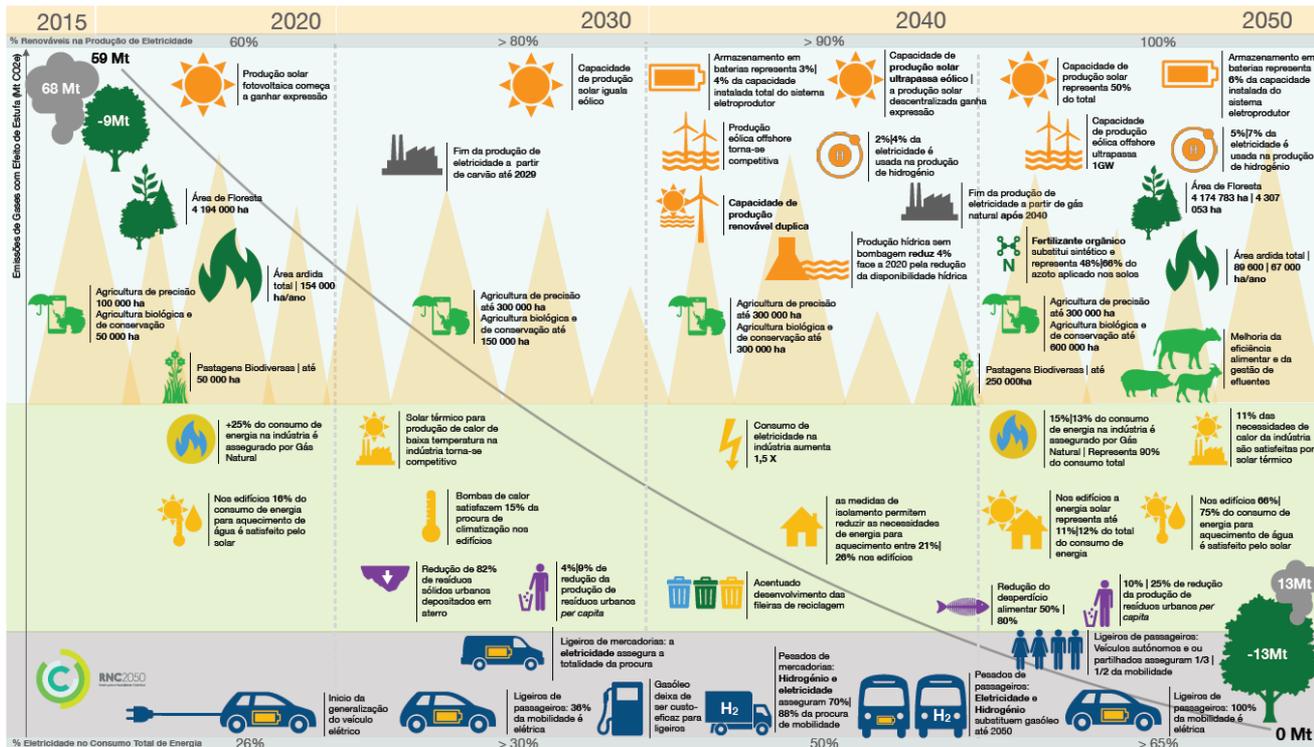
Metas de Descarbonização da Indústria



Resposta Nacional



RNC 2050
Roteiro para a Neutralidade Carbónica



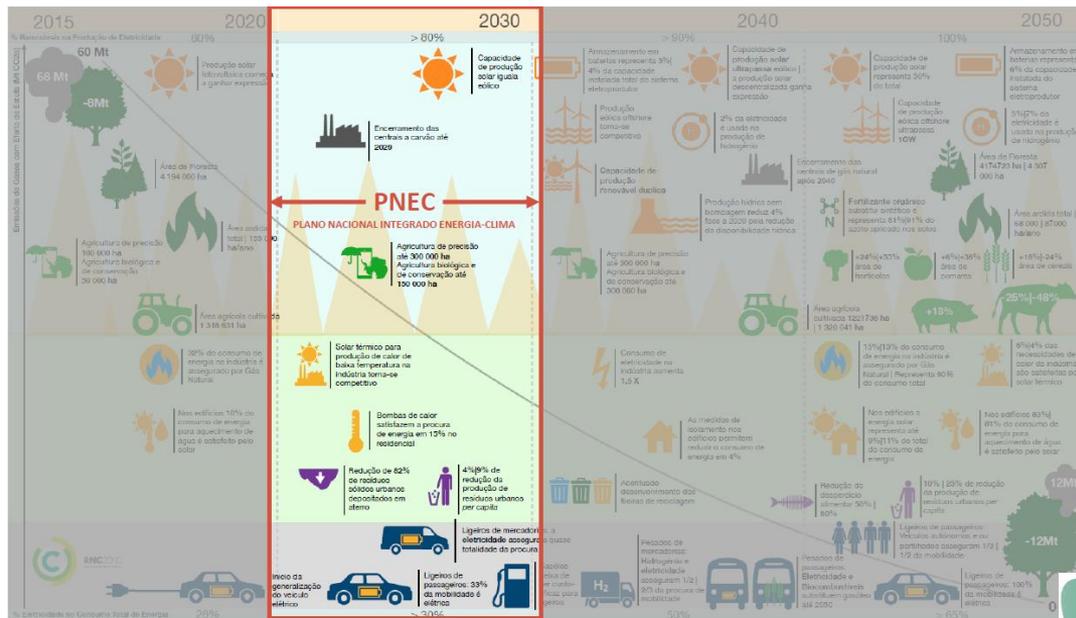
Fonte: ROTEIRO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA 2050 (RNC2050) - ESTRATÉGIA DE LONGO PRAZO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA DA ECONOMIA PORTUGUESA EM 2050

Plano de Ação Setorial | Descarbonização do Setor Metalúrgico e Metalomecânico

Metas de Descarbonização da Indústria



PNEC2030



Fonte: PNEC 2030



Metas de Descarbonização da Indústria

Tabela 9 – Proposta de metas e objetivos de incorporação, em volume, de hidrogénio nos vários setores

	2025	2030	2040	2050
 H ₂ NA REDE DE TRANSPORTE DE GÁS NATURAL ²⁰	1% - 5%	10% - 15%	40% - 50%	75% - 80%
 H ₂ NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL ²¹	1% - 5%	10% - 15%	40% - 50%	75% - 80%
 H ₂ NO CONSUMO DA INDÚSTRIA ²²	0,5% - 1%	2% - 5%	10% - 15%	20% - 25%
 H ₂ NO CONSUMO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO	0,1% - 0,5%	1% - 5%	5% - 10%	20% - 25%
 H ₂ NO TRANSPORTE MARÍTIMO DOMÉSTICO	0%	3% - 5%	10% - 15%	20% - 25%
 H ₂ NO CONSUMO TOTAL FINAL DE ENERGIA	1% - 2%	2% - 5%	7% - 10%	15% - 20%
 H ₂ NAS CENTRAIS TERMOELÉTRICAS A GÁS NATURAL	1% - 5%	5% - 15%	40% - 50%	75% - 80%
 CAPACIDADE PARA PRODUÇÃO DE H ₂	250 - 500 MW	1,75 - 2 GW	3 GW	5 GW
 CAPACIDADE PARA PRODUÇÃO DE H ₂ UPP ²³ (<5 MW)	50 MW	100 MW	250 MW	500 MW
 N.º DE PONTOS DE ABASTECIMENTO	10 - 25	50 - 100	500 - 700	1000 - 1500
 N.º DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS	25 - 50	400 - 750	1500 - 2500	4500 - 6000
 N.º DE VEÍCULOS PESADOS DE MERCADORIAS	25 - 50	400 - 500	4000 - 5000	10000 - 12000
 N.º DE VEÍCULOS LIGEIROS (PASSAGEIROS E MERCADORIAS)	400 - 500	750 - 1000	4000 - 5000	25000 - 30000



 **EN-H₂**
ESTRATÉGIA NACIONAL
PARA O HIDROGÉNIO

Metas de Descarbonização da Indústria

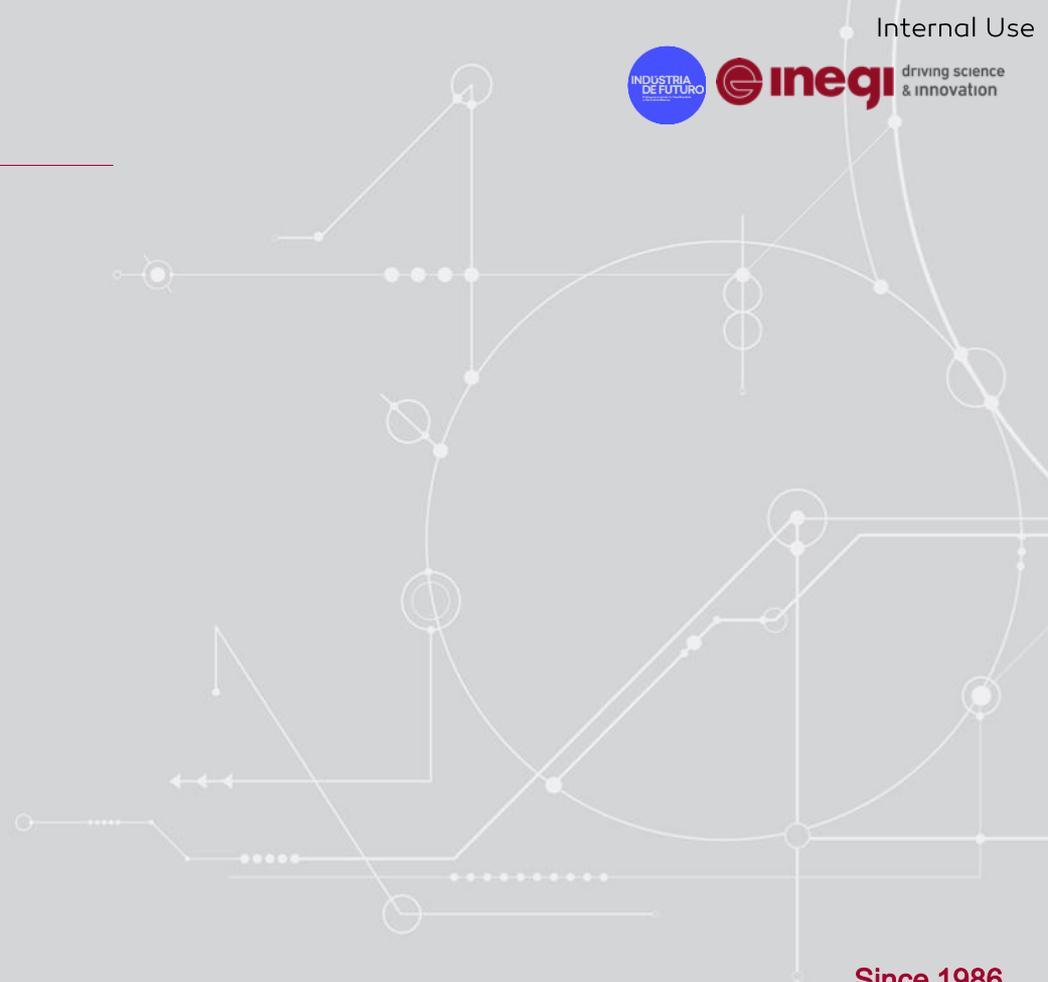
Plano de ação/Roteiro	PNEC 2030	RNC 2050
Metas de descarbonização	Redução de emissões de CO ₂ eq de 55% até 2030	Redução de emissões de GEE de 30-40% em 2030
	Redução do consumo de energia primária de 35% até 2030	Redução de emissões de GEE na indústria de cerca de 50% até 2030 e 70% até 2050
	Redução do consumo de gás natural de 15%	Redução da intensidade energética na indústria entre 52% e 64% até 2050

- Economia circular mais robusta
- Implementação de medidas de eficiência energética
- Processos de baixa produção de carbono
- Integração de renováveis
- Promoção de sinergias industriais



3.

Plano de ação para descarbonização dos processos industriais do Setor



Since 1986

Plano de ação

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E ENERGIA

Opções de mitigação – custos e potencial

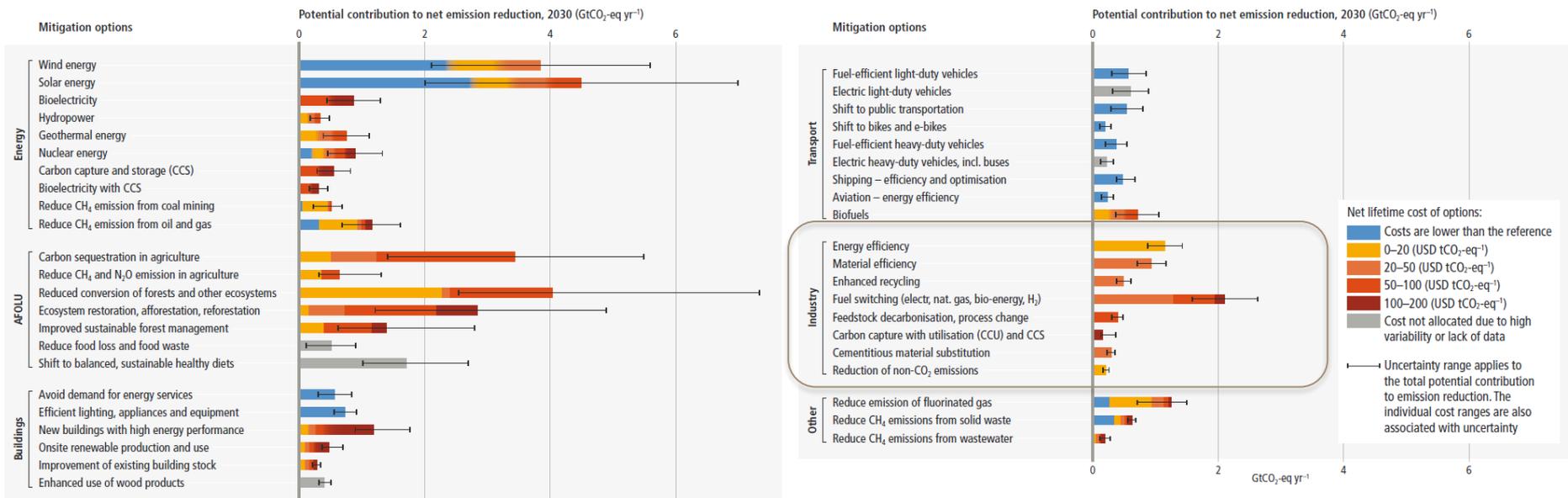
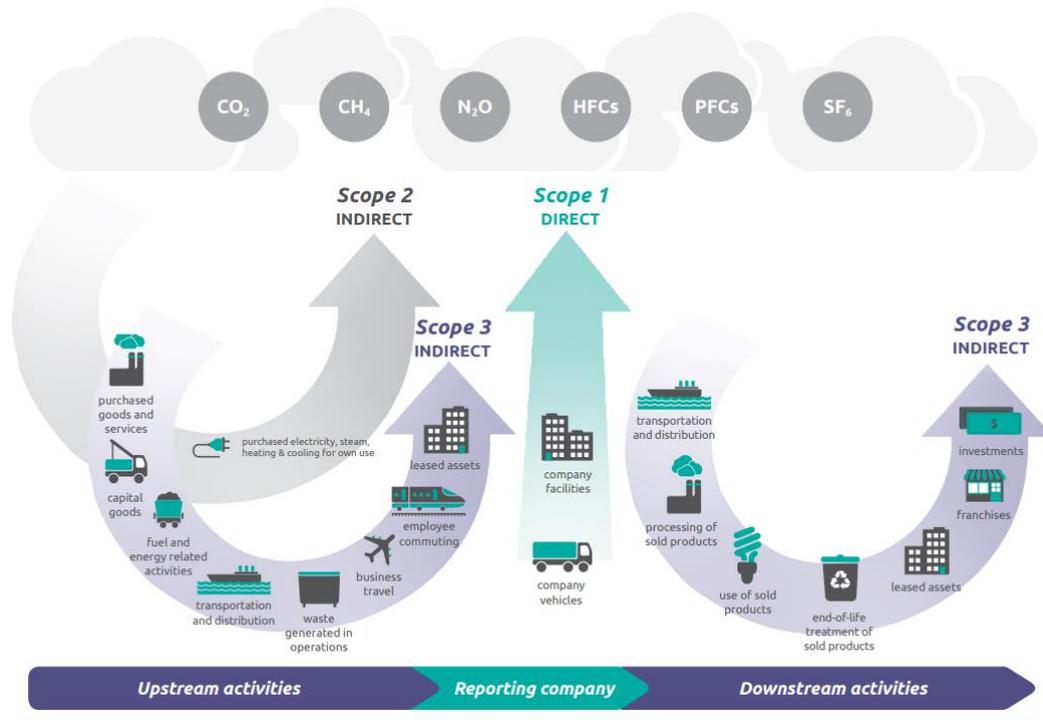


Figure SPM.7 | Overview of mitigation options and their estimated ranges of costs and potentials in 2030.

Plano de ação

Figure [1.1] Overview of GHG Protocol scopes and emissions across the value chain



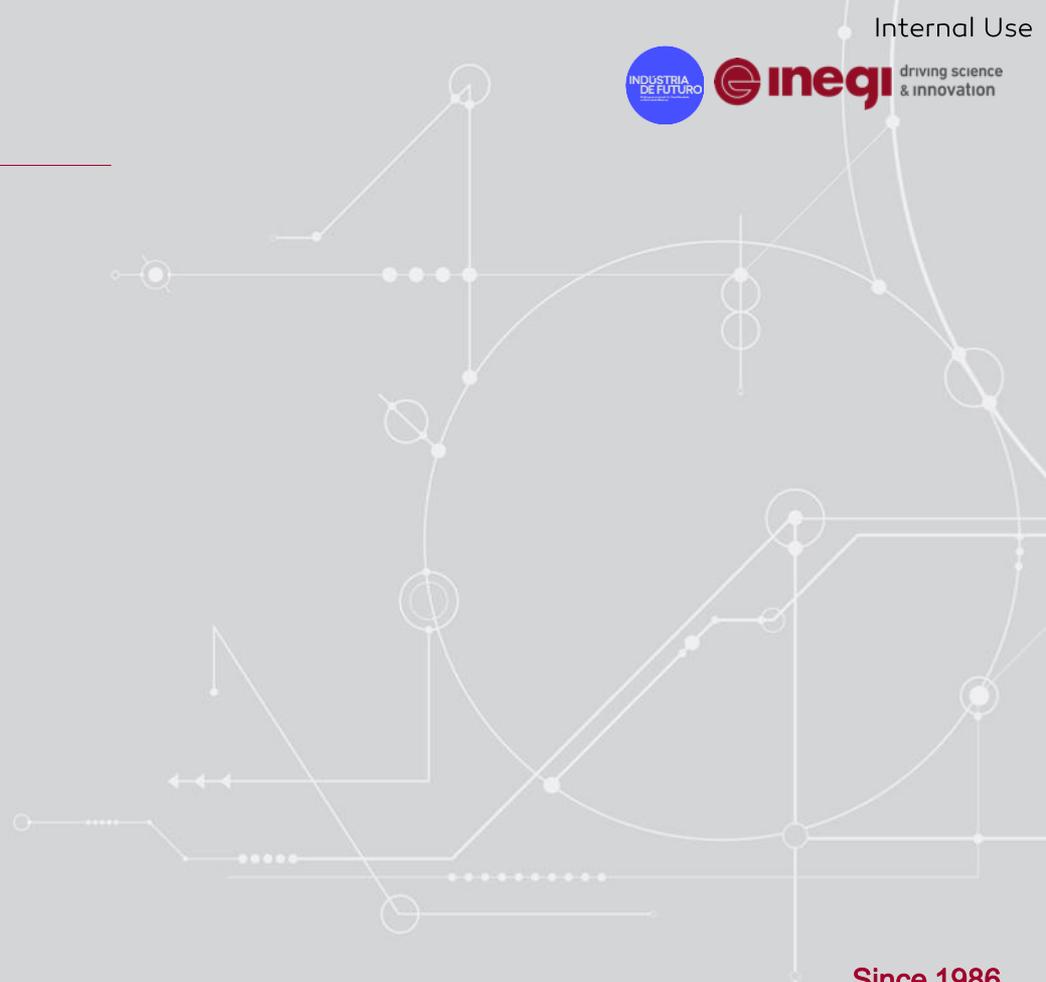
Plano de ação focado na racionalização e descarbonização do uso de gás natural!!!



3.

Plano de ação para descarbonização dos processos industriais do Setor

- i. Eficiência energética
- ii. Integração de fontes renováveis de energia
- iii. Gases Renováveis
 - Hidrogénio Verde
 - Biometano

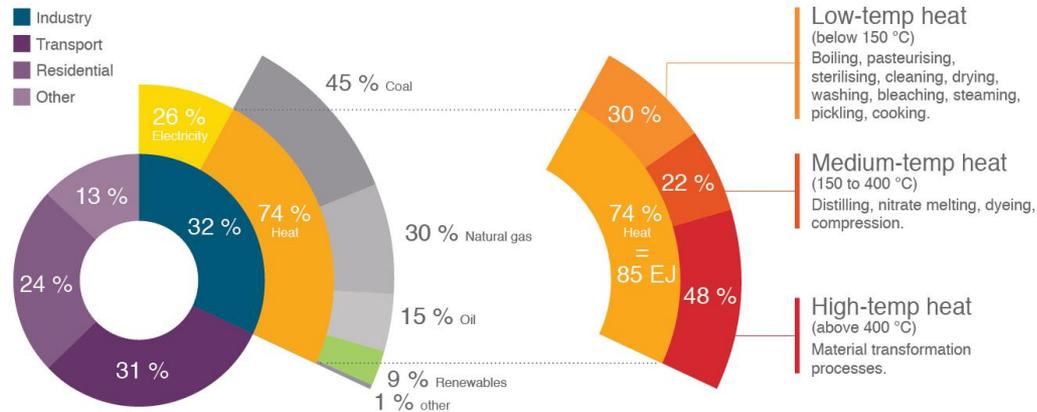


Since 1986

Plano de ação | Eficiência Energética



Energia térmica: procura por nível de temperatura



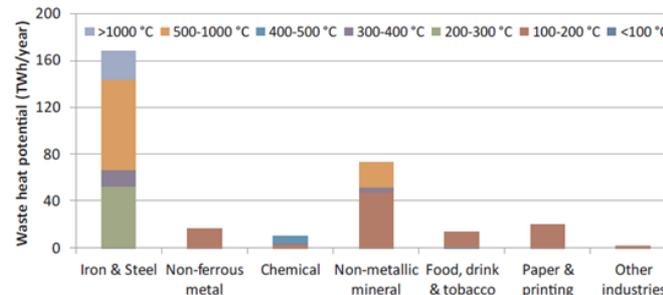
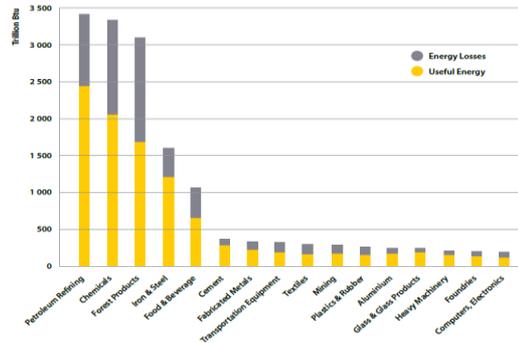
Source: Solar Heat for Industry – Solar Payback Project, 2017

EIA Energy Outlook 2018

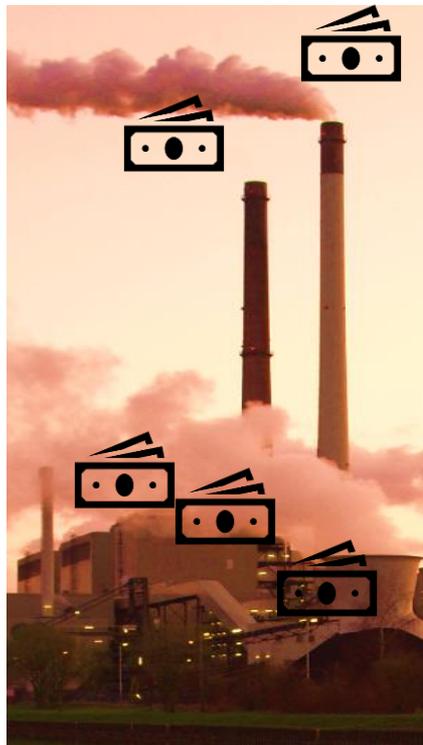
Plano de ação | Eficiência Energética



Energia térmica desperdiçada



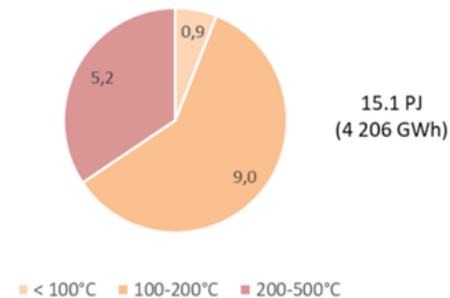
Plano de ação | Eficiência Energética



Energia térmica desperdiçada

Subsector	Excess heat factor	Temperature distribution [%]			
		< 100°C	100-200°C	200-500°C	>500°C
Manufacture of food products	0,10	10	90	0	0
Manufacture of beverages	0,14	10	90	0	0
Manufacture of tobacco products	0,12	10	90	0	0
Manufacture of textiles	0,29	10	60	30	0
Manufacture of wearing apparel	0,06	10	60	30	0
Manufacture of leather and related products	0,20	10	60	30	0
Manufacture of wood and products of wood and cork *	0,10	10	60	30	0
Manufacture of paper and paper products	0,09	10	90	0	0
Printing and reproduction of recorded media	0,03	10	60	30	0
Manufacture of chemicals and chemical products	0,09	10	90	0	0
Manufacture of pharmaceutical products	0,08	10	90	0	0
Manufacture of rubber and plastic products	0,17	10	90	0	0
Manufacture of other non-metallic mineral products	0,15	0	20	80	0
Manufacture of basic metals	0,19	0	10	90	0
Manufacture of fabricated metal products **	0,19	0	50	50	0
Manufacture of electronic and optical products	0,18	10	60	30	0
Manufacture of electrical equipment	0,31	10	60	30	0
Manufacture of machinery and equipment n.e.c.	0,16	10	60	30	0
Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers	0,12	10	40	50	0
Manufacture of other transport equipment	0,38	10	40	50	0
Manufacture of furniture	0,12	10	60	30	0
Other manufacturing	0,08	10	60	30	0
Repair and installation of machinery and equipment	0,05	10	60	30	0

(*) except furniture (**)except machinery and equipment



Potencial de aproveitamento de calor residual no setor industrial em Portugal, em 2020

Plano de ação | Eficiência Energética



- O setor industrial detém 25% da energia final da UE-28. Em Portugal, chega aos 31%, sendo $\frac{2}{3}$ sob a forma de calor;
- Uma parte significativa (20 a 50%) é perdida como calor residual: gases de exaustão, água e ar de arrefecimento, condensados, perdas térmicas por mal isolamento ou pelos produtos, etc.;
- A UE tem um potencial significativo de recuperação de calor industrial (300 TWh/ano), sendo que $\frac{1}{3}$ do total envolve temperaturas abaixo dos 200 °C (ou seja, baixa temperatura);
- A recuperação de calor residual e o aproveitamento de energias renováveis são oportunidades atrativas para fornecer energia sem gerar emissões adicionais de GEE e, ao mesmo tempo, reduzir custos operacionais e melhorar a eficiência dos processos;
- Em função das características do calor residual, existem diferentes soluções e tecnologias de aproveitamento. Porém, estas características definiram a viabilidade técnica e económica.

Plano de ação | Eficiência Energética

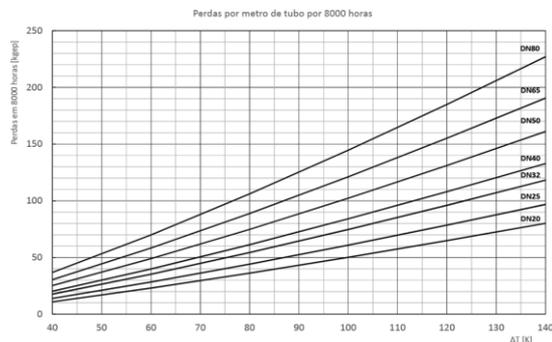
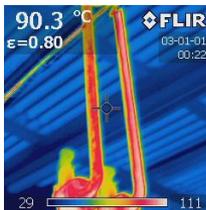
Áreas de intervenção prioritária | Dados SGCIE - Setor Metalúrgico e Metalomecânico

	Potencial de redução Global (tep/ano)	PRI (anos)	Custo de redução por tep (€/tep)	Redução GEE (t CO ₂ e)	Número de Instalações
Formação e sensibilização de recursos humanos	2 222	0,35	250	8 624	185
Frio Industrial	3 495	4,83	4 936	18 894	170
Iluminação eficiente	10 708	3,33	3 777	58 515	977
Integração de processos	1 307	2,34	1 347	4 225	23
Isolamentos térmicos	12 540	1,30	571	34 338	512
Manutenção de equipamentos consumidores de energia	2 594	2,24	1 693	10 234	176
Monitorização e controlo	11 808	1,62	1 176	47 754	515
Optimização de motores	5 963	2,38	2 433	32 428	436
Outros	22 306	4,15	3 243	86 886	580
Recuperação de calor	30 544	2,22	833	78 375	362
Sistemas de bombagem	2 824	2,13	2 207	15 430	212
Sistemas de combustão	14 956	2,29	1 490	64 142	375
Sistemas de compressão	8 891	2,16	2 302	48 240	769
Sistemas de ventilação	3 455	1,68	1 745	18 424	266
Transportes	688	3,26	3 792	1 941	39
Tratamento de efluentes	1 378	1,31	627	4 091	16
Total Geral	135 678	2,66	1 888	532 540	-

Plano de ação | Eficiência Energética

Redução de desperdícios | Isolamentos térmicos

- Embora seja possível efetuarem-se cálculos rigorosos para se definirem as espessuras de isolamento técnica e economicamente mais adequadas às várias situações encontradas em instalações a vapor, na prática as espessuras usadas são baseadas em valores práticos de referência.
- Nas instalações a vapor os únicos equipamentos que não podem ser isolados termicamente são os conjuntos de purga, pois só assim estes dispositivos funcionarão corretamente.

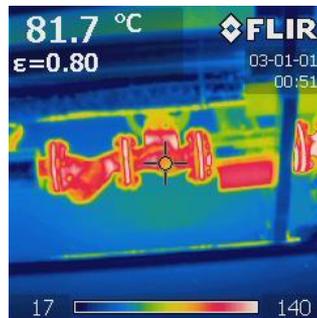


DN	Temperatura máxima de operação [°C]							
	100	150	200	250	300	350	400	420
20	30	30	30	30	50	50	50	50
25	30	30	50	50	50	50	50	50
32	30	30	50	50	50	50	50	50
50	30	30	50	50	50	50	80	80
65	30	30	50	50	50	80	80	80
80	30	50	50	50	50	80	80	80
100	50	50	50	50	50	80	80	100
150	50	50	50	50	80	80	80	100
200	50	50	50	50	80	80	80	100
250	50	50	50	50	80	80	100	100
300	50	50	50	50	80	80	100	100
350	50	50	50	50	80	80	100	100
400	50	50	50	50	80	80	100	100
450	50	50	50	50	80	80	100	100
500	50	50	50	50	80	80	100	100
600	50	50	50	50	80	80	100	100
> 600	50	50	80	80	100	100	100	150
Equipamentos	50	50	80	80	100	100	100	150

Plano de ação | Eficiência Energética

Redução de desperdícios | Isolamentos térmicos

- Um dos aspetos fundamentais a considerar nas economias de energia térmica são as perdas de calor que se verificam através de componentes não isolados. Pode-se obter uma estimativa das perdas caloríficas através de cálculos de transferência de calor ou então recorrer-se a ábacos ou tabelas que deem imediatamente os valores das perdas caloríficas em função do tamanho nominal da tubagem e do gradiente térmico entre os componentes e o ambiente envolvente.



Perdas de calor em kg_{ep} para 8000 h de funcionamento em válvulas não isoladas.

	1/2"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"
ΔT [°C]	DN 15	DN 25	DN 32	DN 50	DN 80	DN 100	DN 150	DN 200	DN 250	DN 300	DN 350	DN 400	DN 450	DN 500
70	148	194	228	285	399	559	776	1084	1437	1825	2191	2590	2944	3423
80	173	226	266	332	465	652	904	1264	1677	2129	2555	3020	3433	3992
90	199	260	305	382	535	749	1039	1452	1926	2445	2934	3469	3943	4584
100	226	295	347	434	607	850	1180	1648	2185	2774	3329	3937	4474	5203
110	253	332	390	487	682	955	1325	1852	2456	3118	3742	4424	5028	5847
120	282	369	434	543	761	1065	1477	2064	2738	3477	4172	4932	5606	6519
130	313	409	482	602	843	1180	1637	2286	3032	3850	4621	5463	6209	7219
140	344	450	530	662	927	1299	1803	2518	3340	4241	5089	6017	6839	7952
150	377	494	581	726	1017	1424	1976	2760	3661	4648	5578	6595	7495	8716
160	412	539	634	792	1110	1554	2156	3012	3996	5073	6089	7199	8181	9514
170	448	587	68	863	1207	1691	2345	3276	4346	5518	6622	7829	8898	10346
180	486	636	748	935	1309	1832	2542	3552	4711	5983	7178	8487	9646	11216
190	526	687	808	1010	1415	1980	2748	3839	5093	6467	7761	9175	10428	12125
200	567	741	872	1089	1526	2135	2964	4140	5492	6973	8367	9893	11244	13074
210	609	797	938	1172	1641	2297	3188	4454	5907	7501	9002	10642	12096	14065
220	654	855	1007	1258	1762	2467	3423	4781	6341	8053	9663	11425	12985	15099

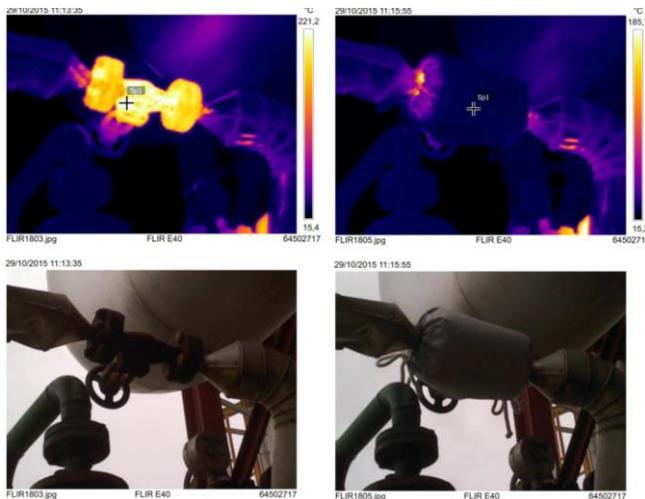
Plano de ação | Eficiência Energética

Redução de desperdícios | Isolamentos térmicos

Caso Estudo (1) | Isolamento de válvulas

$T_{\text{válvula}} = 222,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_{\text{válvula}} = 27,6 \text{ } ^\circ\text{C}$



Para uma válvula de 1":

- $\Delta T \approx 200 \text{ } ^\circ\text{C}$
- 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 a uma válvula nestas condições é possível obter as seguintes **poupanças**, dependendo do vetor utilizado:

Poupança Eletricidade = 466 €/ano

Poupança Gás Propano = 835 €/ano

Poupança Gás Natural = 263 €/ano

Plano de ação | Eficiência Energética

Redução de desperdícios | Isolamentos térmicos

Caso Estudo (2) | Isolamento das flanges e tubagens de vapor

Âmbito:

As perdas de calor que se verificam em válvulas e flanges não isoladas equivalem a perdas de calor em vários metros de tubagem não isolada: por exemplo, as perdas de calor que se verificam numa válvula não isolada são idênticas às que se verificam em um metro de tubagem, com o mesmo diâmetro, não isolada, enquanto que as que se verificam numa flange não isolada são metade.

Dados entrada:

- T superfície: 150 a 160 °C
- T ambiente: 25°C
- N° de horas anuais: 8 760 h



Poupanças anuais:

- Energéticas: 427 000kWh
- Económicas: 6 364 €
- Emissões: 99 Ton CO₂



Plano de ação | Eficiência Energética

Redução de desperdícios | Isolamentos térmicos

Caso Estudo (3) | Isolamento das tampas dos banhos de decapagem

Âmbito:

O reforço ou reparação dos isolamentos térmicos é justificado e conduz a economias energéticas significativas se existir uma diferença mínima de 50°C entre a temperatura da superfície exterior do equipamento e a do meio ambiente.

Dados entrada:

- Dimensões das tampas: 2 * 1,5 m
- N° de tampas: 4
- T superfície: 85 °C
- T ambiente: 25°C
- N° de horas anuais: 8 000 h



Poupanças anuais:

- Energéticas: 48 000 kWh
- Económicas: 5 700 €
- Emissões: 11 Ton CO₂



Plano de ação | Eficiência Energética

Redução de desperdícios | Redes de vapor

Medidas para aumentar a eficiência na geração e distribuição de vapor

- Utilização de permutadores de calor (economizadores) para pré-aquecer a água de alimentação à caldeira;
- Remoção de depósitos de calcário e/ou de fuligens das superfícies de transferência de calor;
- Minimização de purgas da caldeira;
- Recuperação de calor das purgas;
- Recolha e reutilização dos condensados na caldeira;
- Reutilização do vapor de *flash* (p.ex., vapor gerado por expansão de condensados);
- Programa de controlo e manutenção dos purgadores;
- Isolamento das tubagens, válvulas e flanges;
- Eliminação de fugas de vapor e de condensados;
- Melhoramentos no *lay-out* da rede de distribuição.

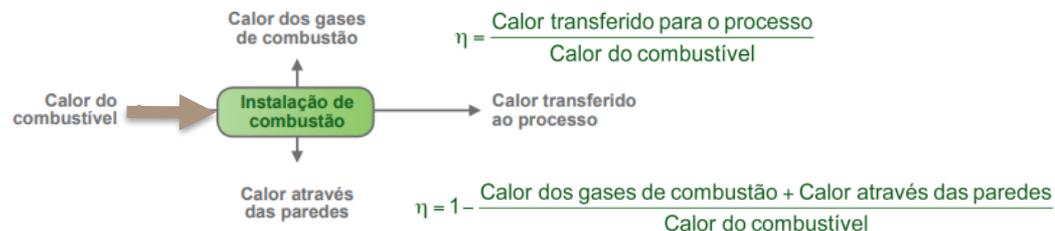
Plano de ação | Eficiência Energética

Eficiência Energética | 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.



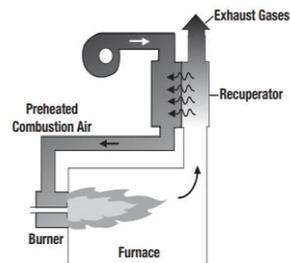
- Redução da temperatura de saída dos gases de combustão
 - Aumento da transferência de calor no Sistema
 - Pré aquecimento do ar de entrada com os gases de saída da combustão
 - Limpeza e manutenção das superfícies de transferência de calor
 - Instalação de um Sistema de Rankine orgânico para a produção 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

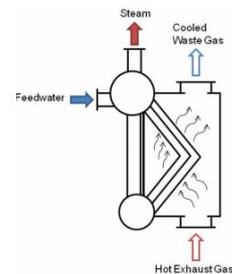
Eficiência Energética | Caldeiras, Fornos e secadores

Recuperação e reutilização de Calor Residual

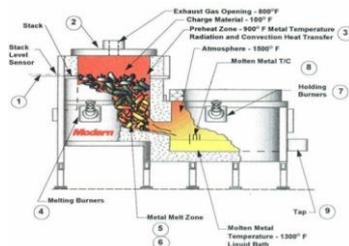
Pré Aquecimento do ar de combustão



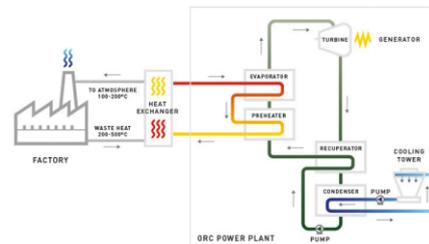
Pré aquecimento de água de processo (economizador)



Pré Aquecimento da matéria prima



Produção de energia elétrica
Ciclos Orgânicos de Rankine (CRO)

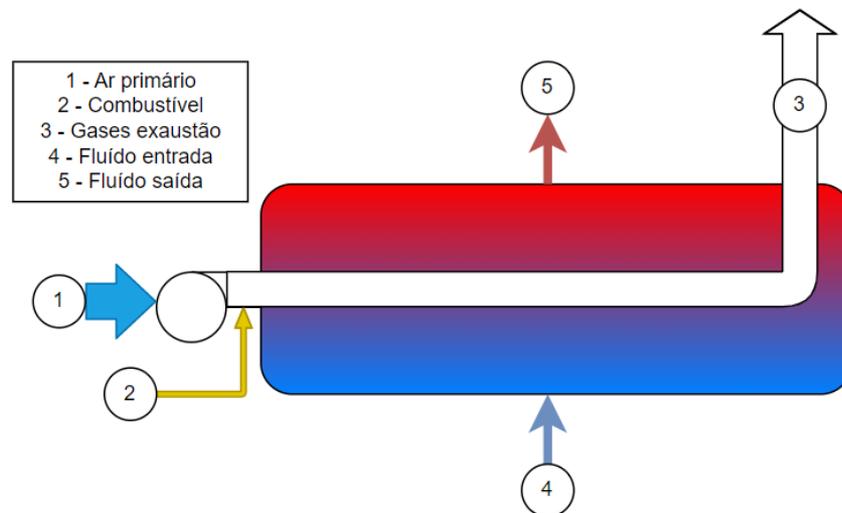


Plano de ação | Eficiência Energética

Eficiência Energética | Caldeiras

Boas Práticas

- Inspeccionar e proceder à manutenção da caldeira e dos queimadores;
- Controlar as condições de combustão através da análise dos gases de combustão (regulação do excesso de ar);
- Adequar a produção da caldeira às necessidades do processo;
- Limpar os tubos de fumos;
- Instalar isolamentos térmicos e inspeccioná-los regularmente;
- Evitar perdas de calor em *stand-by*;
- Tratar as águas e efectuar purgas adequadas;
- Investigar o potencial de recuperação de calor;
- Instalar sistemas de controlo automático;
- Avaliar a possibilidade de substituir a caldeira ou o combustível.

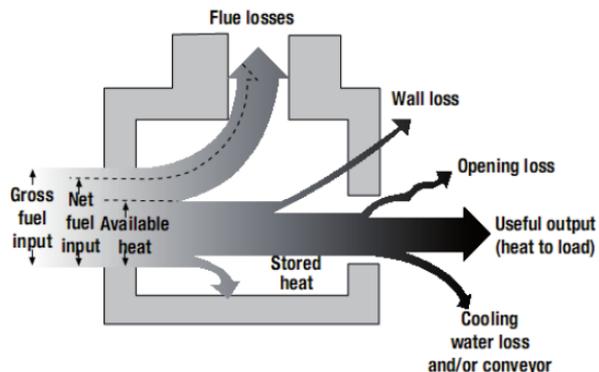


Plano de ação | Eficiência Energética

Eficiência Energética | 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

Caso Estudo– *Retrofit* de forno de fundição

Âmbito:

Substituição de forno sem tampa basculante nem chaminé para gases de exaustão por um forno com essas características, o que aumenta a eficiência energético do processo, e sendo conforme as regras de boas práticas na fundição de ligas metálicas não ferrosas.

Complementarmente, a redução de temperatura de set-point do forno de 850°C para 750°C (90°C acima do ponto de fusão do alumínio) traduz um ganho de eficiência adicional.

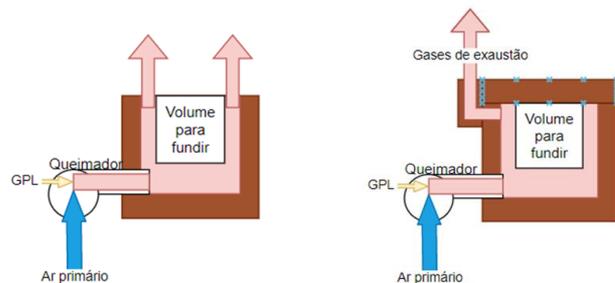
Dados entrada:

- Consumo de energia: 486 546 kWh/ano
- Custo económico : 113 295 €/ano
- Emissões gasosas: 111 tCO₂/ano



Poupanças anuais:

- Energéticas: 259 000 kWh
- Económicas: 60 000 €
- Emissões: 59 Ton CO₂
- Investimento: 40 000€
- PRI < 1 ano



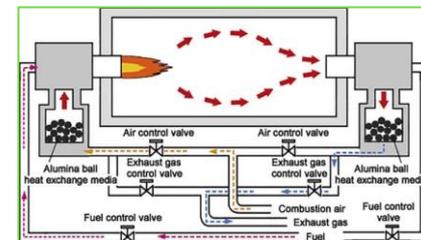
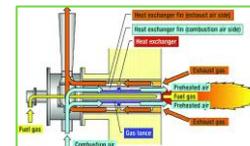
Forno atual vs Forno proposto

Plano de ação | Eficiência Energética

Eficiência Energética | 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.**

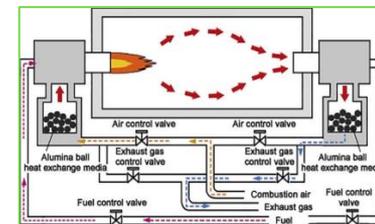


Plano de ação | Eficiência Energética

Eficiência Energética | Fornos

Melhores Tecnologias Disponíveis – Queimadores Regenerativos

- Maior eficiência energética com redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂);
- Perfil de temperaturas mais uniforme;
- Baixas emissões de monóxido de carbono (CO) e de óxidos de azoto (NO_x);
- Aumento da transferência de calor;
- Evita a utilização de outros equipamentos para aumentar a poupança energética nos sistemas de combustão
- Aumento da produtividade e qualidade do produto (se o sistema de combustão fizer parte de um processo produtivo);
- Maior durabilidade do sistema de combustão (fornalha e tubagens);
- Tubagem de exaustão de menor diâmetro;
- Menor ruído de combustão.

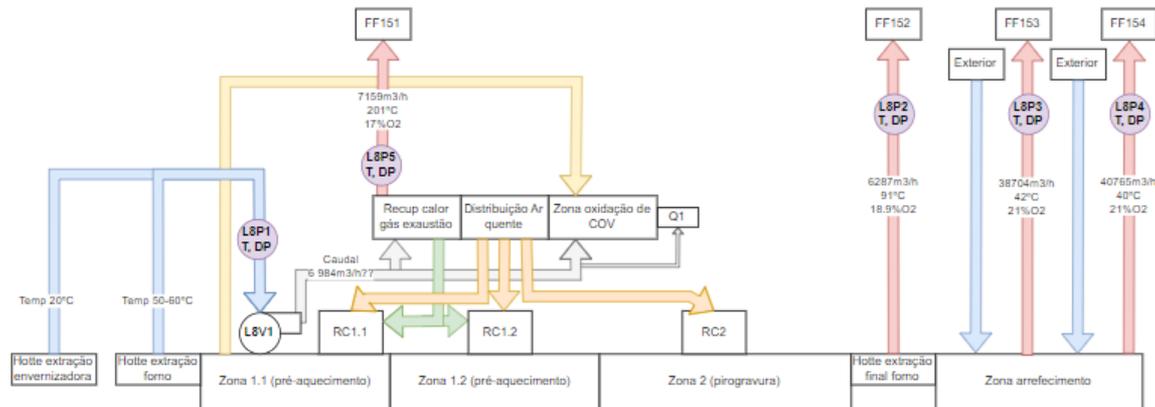


Plano de ação | Eficiência Energética

Eficiência Energética | 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 de calor | Principais fontes de calor

- Gases de combustão;
- Efluentes quentes ou frios;
- Ar de exaustão;
- Produtos quentes ou frios, ou restos de produção;
- Água de arrefecimento e óleo hidráulico;
- Fontes termais naturais;
- Painéis solares;
- Calor de sobreaquecimento e calor de condensação rejeitado dos processos de refrigeração;
- Outras fontes.

Recuperação de calor | Tecnologias de Recuperação de Calor

As tecnologias mais comuns para a recuperação deste calor são:

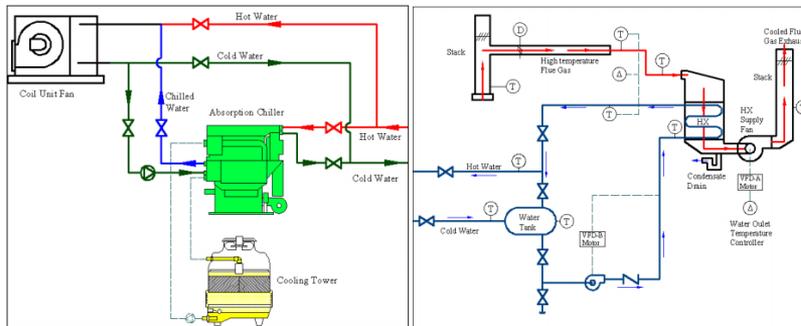
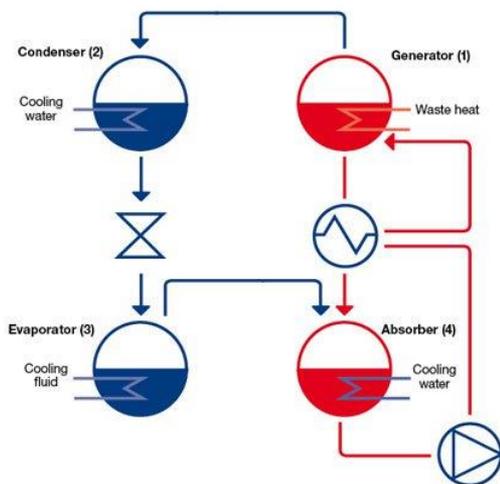
- Permutadores de calor para fazer uso directo do calor no mesmo estado em que se encontra;
- Bombas de calor e recompressão de vapor, que transformam o calor de modo a gerar trabalho mais útil do que se este se encontrasse à sua temperatura inicial;
- Operações multi-estágio, tais como evaporadores multi-efeito, expansão de vapor e combinações das técnicas acima mencionadas.



Plano de ação | Eficiência Energética

Recuperação e reutilização de calor residual | Fontes Fixas de Emissão

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 | Fontes Fixas de Emissão

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

- Caudal do efluente = 11 338 m³/h
- Temperatura saída do efluente = 198 °C

Recuperação de

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:



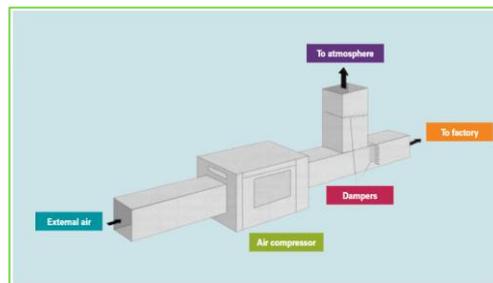
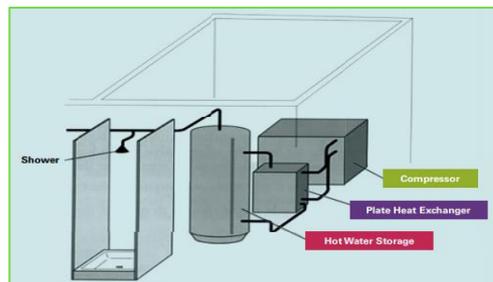
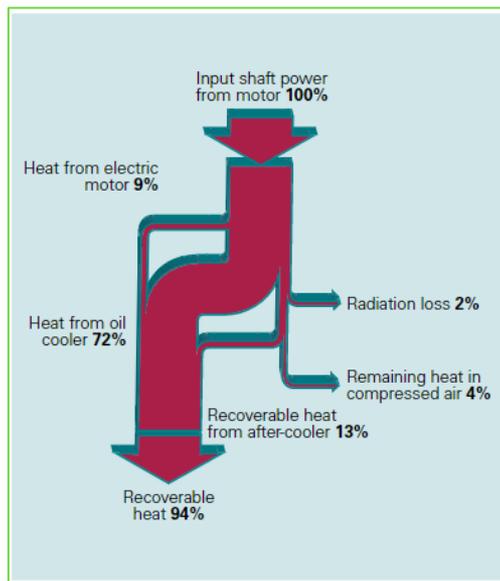
Poupanças obtidas

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

Plano de ação | Eficiência Energética

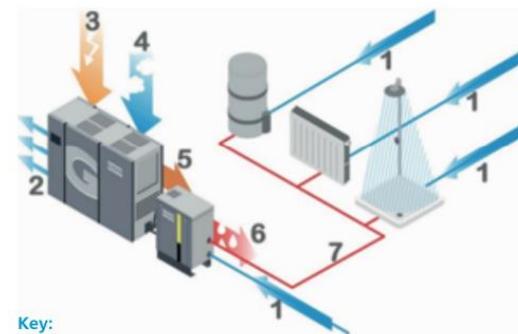
Recuperação e reutilização de calor residual | Compressores

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

Empresas deste sector possuem compressores de ar comprimido

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

Recuperação de calor

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):



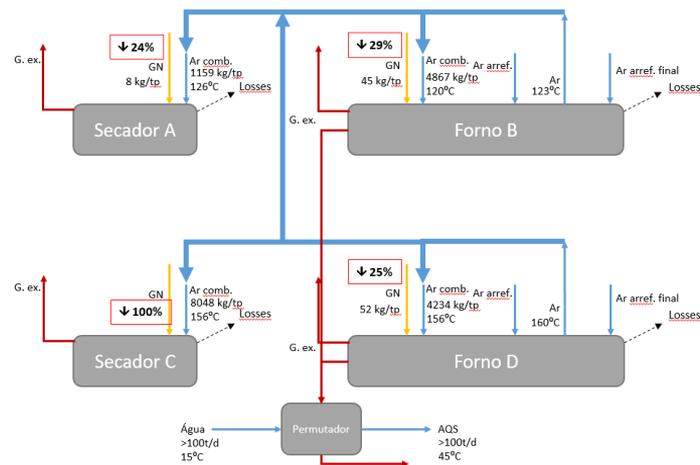
Poupanças obtidas

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

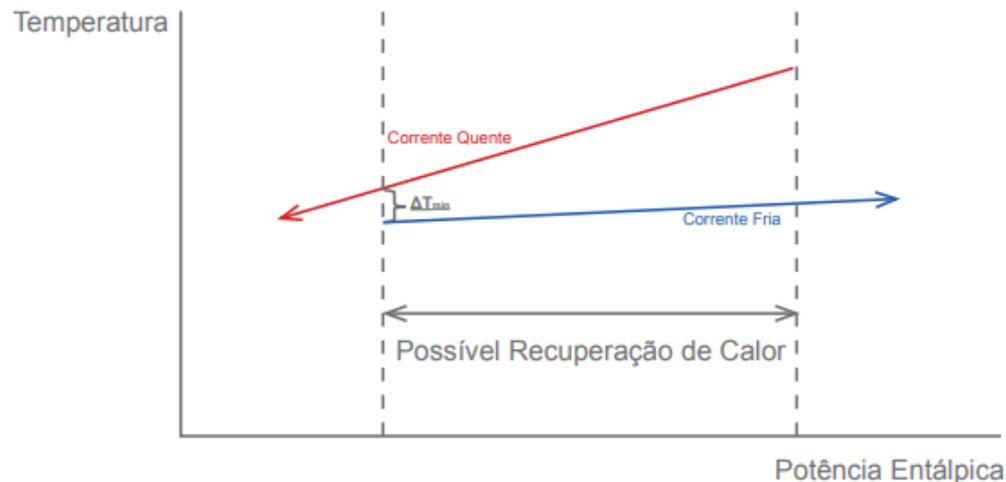
Fluxos de Calor Residual | Integração Energética de Processos

Metodologia Pinch

A metodologia Pinch, é uma análise aos fluxos quentes (fluxos que necessitam de perder calor) e frios (fluxos que necessitam de calor) existentes no layout industrial.

O objetivo desta metodologia é minimizar o consumo adicional de energia para aquecimento e arrefecimento de fluxos pela troca de calor entre os próprios fluxos.

Isto é possível através do desenho de uma rede de permutadores de calor a implementar no **layout industrial**.

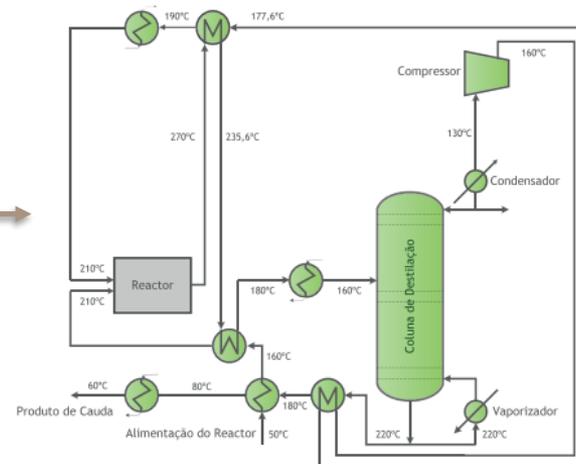
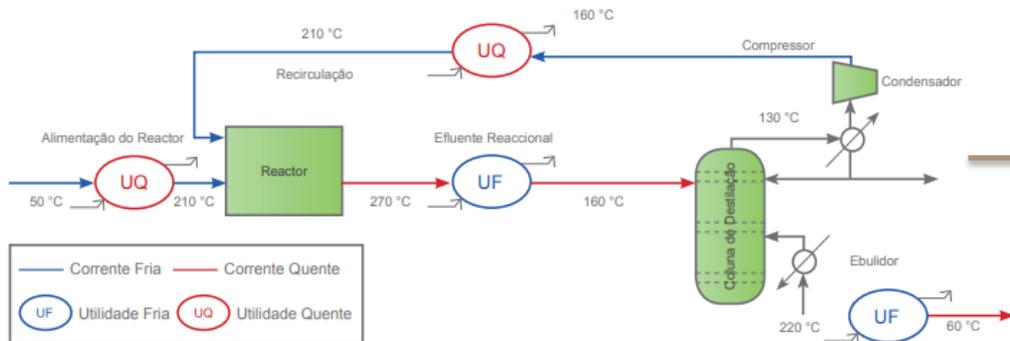


Plano de ação | Eficiência Energética

Fluxos de Calor Residual | Integração Energética de Processos

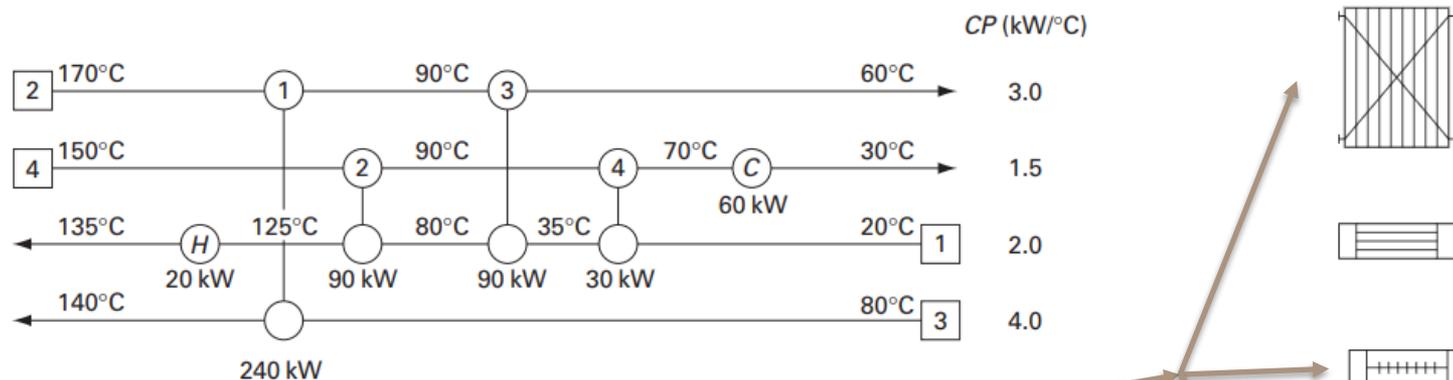
Metodologia Pinch

- Recolha de dados/características sobre o processo e o sistema de utilidades;
- Determinação dos objectivos a alcançar de modo a maximizar o desempenho em vários aspectos;
- Construção de uma rede de permutadores de calor;
- Simplificação da rede proposta para diferentes cenários económicos.



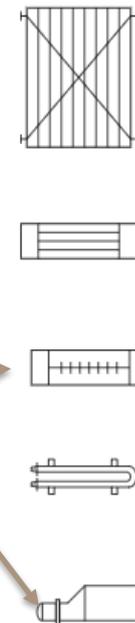
Plano de ação | Eficiência Energética

Fluxos de Calor Residual | Integração Energética de Processos



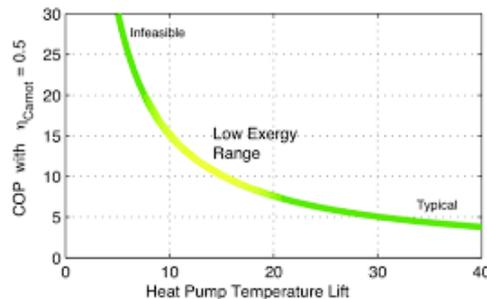
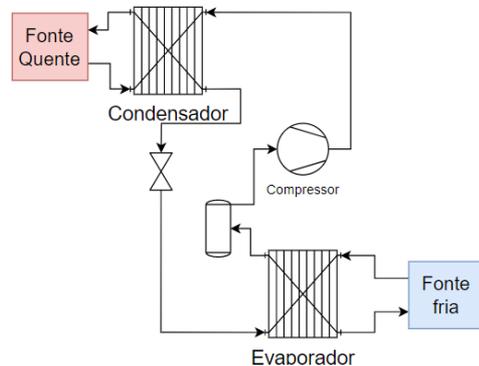
$$A = \frac{Q}{U \Delta T_{LM}}$$

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_H - \Delta T_C}{\ln \frac{\Delta T_H}{\Delta T_C}}$$



Plano de ação | Eficiência Energética

Fluxos de Calor Residual | Integração Energética de Processos – Bombas de Calor



Vantagens

- Permitem a recuperação de calor perdido e o aumento do nível térmico deste, tornando-o utilizável noutros pontos do processo industrial;
- Efectuam o *upgrade* de calor de baixa temperatura;
- Consomem menos energia primária que os equipamentos de aquecimento convencionais;
- Reduzem significativamente as emissões de dióxido de carbono (CO₂), de dióxido de enxofre (SO₂) e de óxidos de azoto (NO_x);
- As bombas de absorção têm baixos consumos de energia eléctrica.

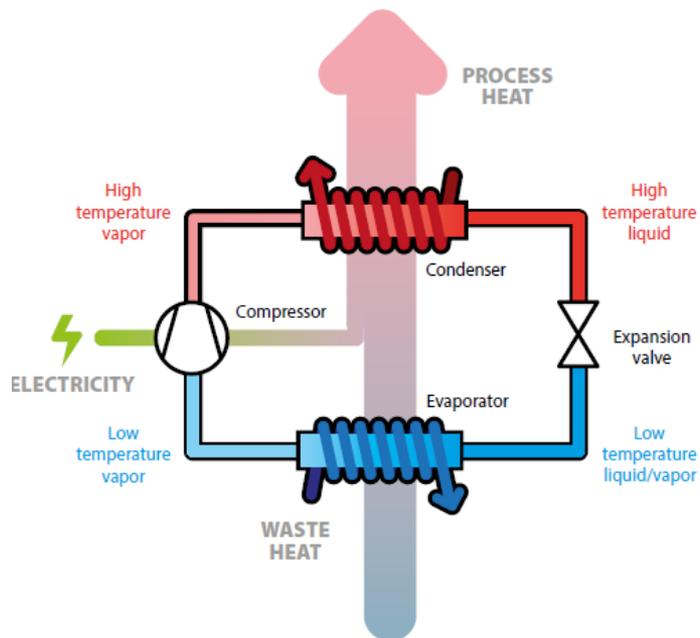
Desvantagens

- O nível de temperatura máxima do calor obtido é de 140 °C;
- A rentabilidade económica só é significativa se os preços das energias primárias forem elevados;
- Maior complexidade processual que um sistema de combustão simples.

Plano de ação | Eficiência Energética



Bombas de calor de Alta temperatura



Strengthening Industrial Heat Pump Innovation | Decarbonizing Industrial Heat

5. AMBITIONS FOR INDUSTRIAL HEAT PUMP IMPLEMENTATION AND DEVELOPMENT

The research institutes involved in the preparation of this whitepaper have set out the following ambitions and objectives for the period 2020 to 2025, which will lay the foundation for a developed industrial heat pump market and establish industrial heat pumps as a mature technology for increased application areas.

Establishment of 3 new refrigerants, which are suitable for use in heat pumps supplying heat in the range of 150°C to 250°C, which have been demonstrated in parallel with natural working media alternatives.

The key ambitions are as follows:

Establishment of multiple knowledge, component and system suppliers for industrial heat pumps, which are able to supply the market with technical solutions that can deliver heat up to 150°C.

Heat pump technology is established as the reference (low carbon) technology for heat supply <100°C, with at least 500 large scale (1 MW to 10 MW) units installed in industry and other relevant application areas. (TRL9)

Industrial heat pumps which are an integral part of standard process equipment (dryers, distillation units, other processes) have become commercially available.

Demonstration of 25 full-scale (1 MW to 10 MW) industrial heat pumps to supply heat in the range of 100°C to 150°C, installed at end-user locations in various sectors and countries. (TRL8)

Realization of 5 projects in the framework of Horizon Europe, which have resolved the key market barriers that have so far prevented industrial heat pumps from achieving wide-scale implementation.

Up to 5 pilot scale (with ± 100 kW heating capacity) demonstration projects to validate the technical feasibility of industrial heat pumps to supply heat beyond 150°C. (TRL6-7)

Industrial heat pumps are high on the European R&D agenda and are recognized as key technology for the EU-decarbonization strategy of industrial heat demand below 200°C.

Development of 3 technologies at a laboratory scale (1 kW to 10 kW), demonstrating the technical feasibility of heat pump concepts to supply heat at temperatures above 200°C. (TRL3-5)

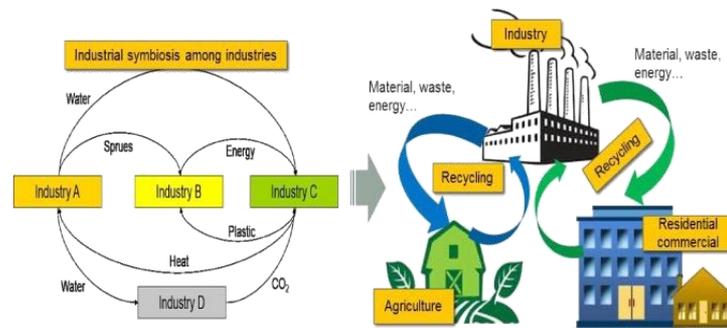
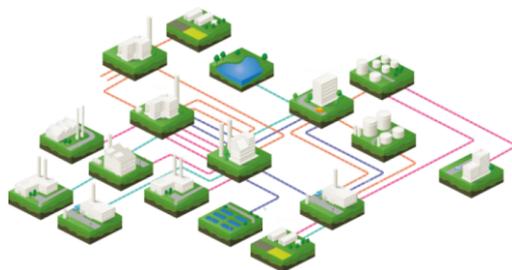
Establishment of uniform testing standards for determining the performance of industrial heat pump units.

Plano de ação | Eficiência Energética

Simbiose industrial de calor residual

Contexto

Neste setor existe um excesso considerável de energia e materiais que podem ser utilizados por instalações vizinhas, fazendo com que indústrias do setor metalúrgico e metalomecânico sejam bastantes viáveis para ser o núcleo de uma economia ecológica em termos de troca de energia, água e/ou outros subprodutos em larga escala.



SIMBIOSE INDUSTRIAL

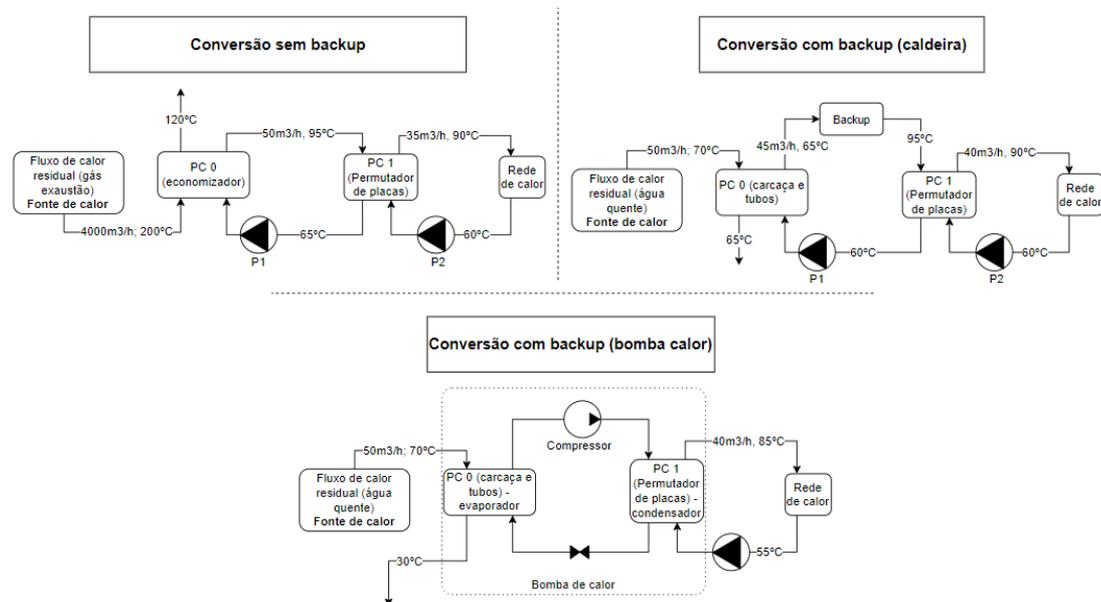
A Agência Europeia do Ambiente identificou a **simbiose industrial** como um modelo chave para promover a mudança para uma economia circular.

Plano de ação | Eficiência Energética

Simbiose industrial de calor residual

Integração energética – conversão do calor residual

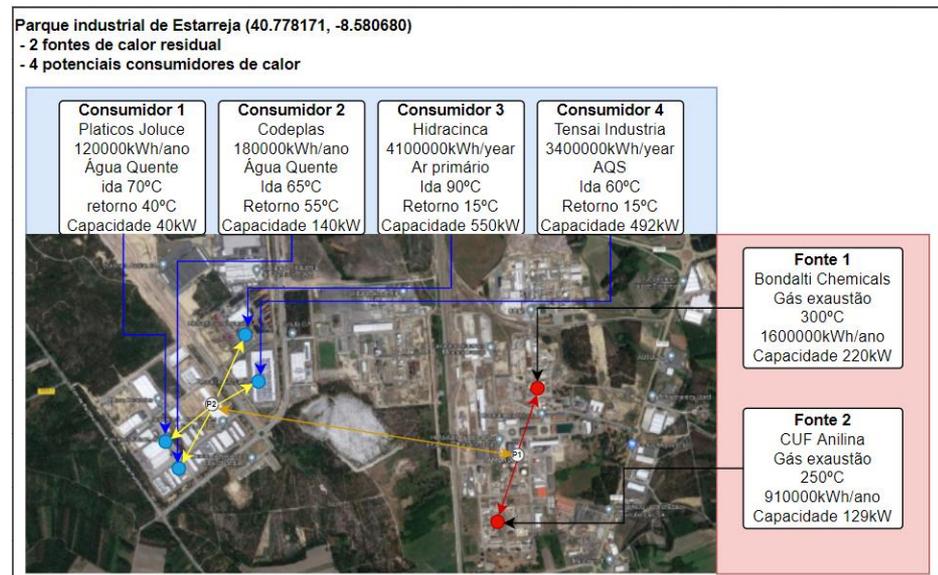
A conversão dos fluxos de calor residual disponíveis na empresa para uma rede de calor passa pela instalação de uma rede de permutadores de calor interna para recolher o fluxo de calor residual e entregar a uma rede de calor. Conforme a temperatura do fluxo residual e a temperatura necessária pelo consumidor, a conversão pode necessitar de um backup para cumprir os requisitos, conforme demonstrado na figura



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

Simbiose industrial de calor residual

Integracao energética – análise técnico económica

Conforme as fontes de calor residual e pontos de consumo disponíveis, este método analisa a instalação de redes de calor com as combinações de fontes de calor e consumidores disponíveis, selecionando aquelas com o menor custo de energia da solução proposta, fornecendo uma resposta rápida à viabilidade técnico-económica de possíveis redes de calor.

A implementação de um algoritmo que analise continuamente potenciais simbioses intra e inter-indústrias pode ser uma ferramenta útil para o planeamento de novos clusters industriais ou na elaboração de metas de descarborização por sector.

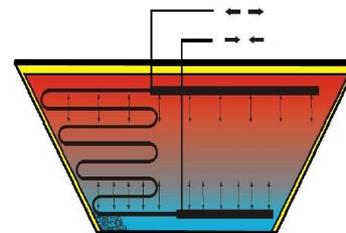
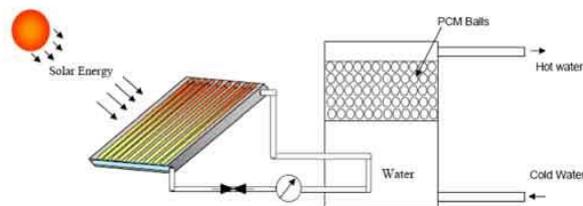
Key investment details				Input	Output					
Total investment private	1,415,716 €		Heat selling tariff	78 €/MWh						
Total OM (€/year)	449,549 €		Country	Portugal						
Grid Capacity	3658 kW		User type	Industrial	Supply temperature		85 °C			
Energy exchanged	8104 MWh		Grid municipal %	65%	Return temperature		55 °C			
Grid length	2.00 km		Municipal subsidy	846,527 €						
By type	Source	Sink	Grid	year	5	10	15	20		
Backup capacity (kW)	1,149	0	0	NPV	17,642 €	374,451 €	1,269,534 €	2,164,618 €		
Grid capacity (kW)	3,658	3,616	3,658	IRR	4%	20%	27%	28%		
Investment	923,645 €	36,250 €	455,822 €	Payback	5.0 years					
OM (€/year)	444,445 €	2,825 €	2,279 €							
Overall decarbonization	1182 tonCO2/year									
Source utilization	100 %									
Sink grid consumption	91 %									

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 estabilização de temperaturas.

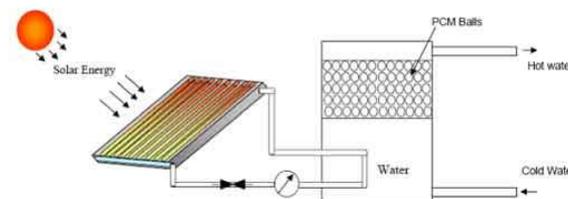
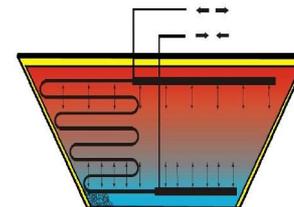
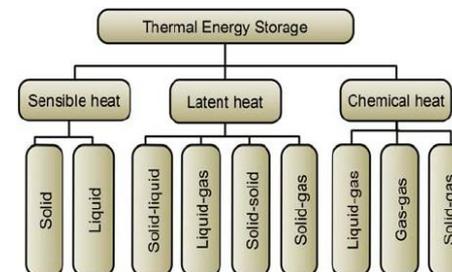


Plano de ação | Eficiência Energética

Fluxos de Calor Residual | Armazenamento de energia térmica

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.

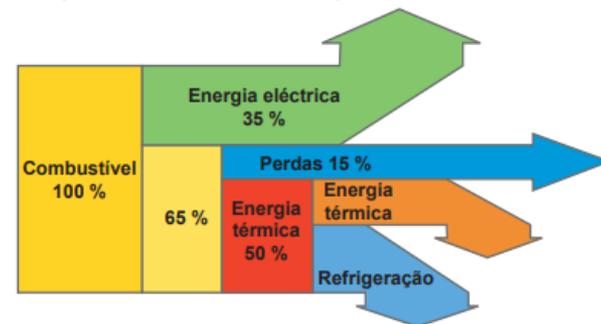


Plano de ação | Eficiência Energética

Cogeração e Trigeriação



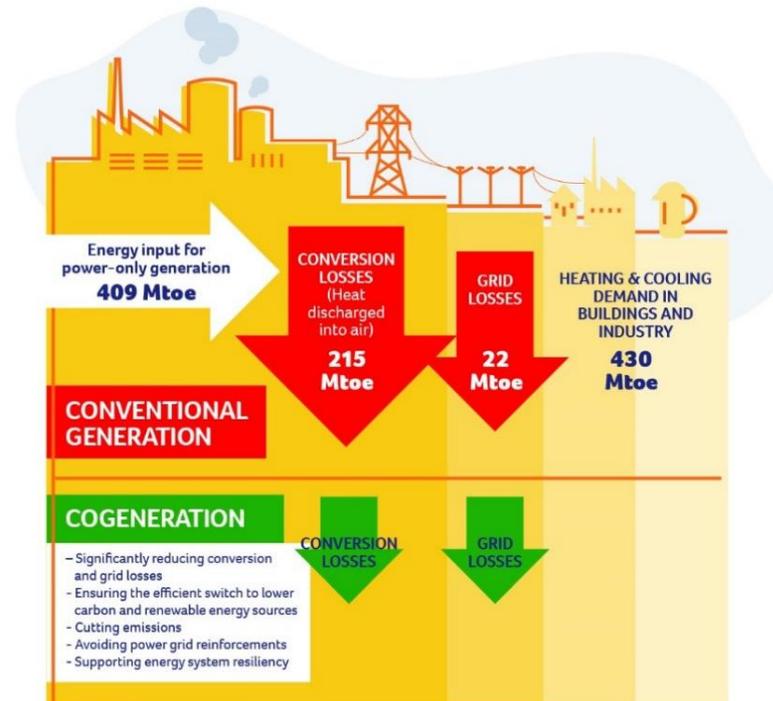
- **Eficiência Energética:** A Cogeração gera 40% mais energia útil do que as centrais só de calor e só de eletricidade, poupando pelo menos 10% de energia primária;
- A **Cogeração** evita o desperdício de calor pela produção de energia térmica, aumentando a eficiência de 30-50% para 75-95%;



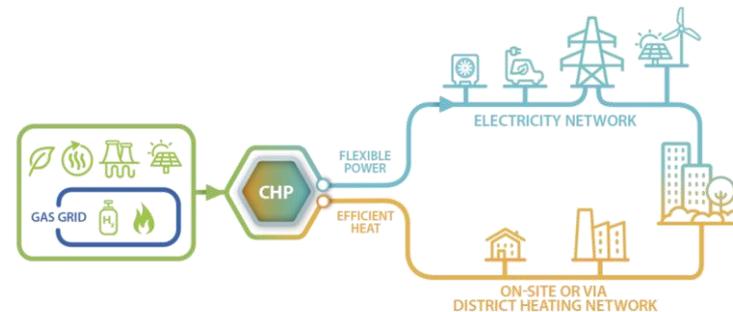
FONTE: COGEN EUROPE | Towards an efficient, integrated and cost-effective net-zero energy system in 2050

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.

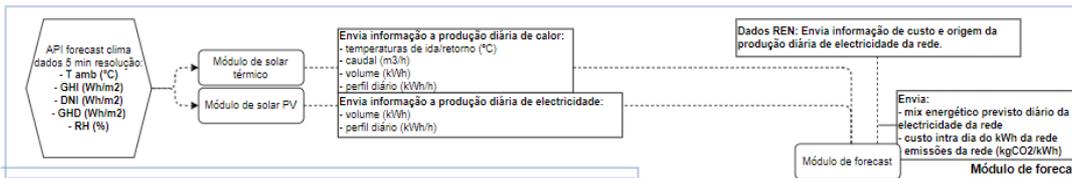


FONTE: COGEN EUROPE | Towards an efficient, integrated and cost-effective net-zero energy system in 2050

03 | CONCLUSÕES E DEBATE

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;

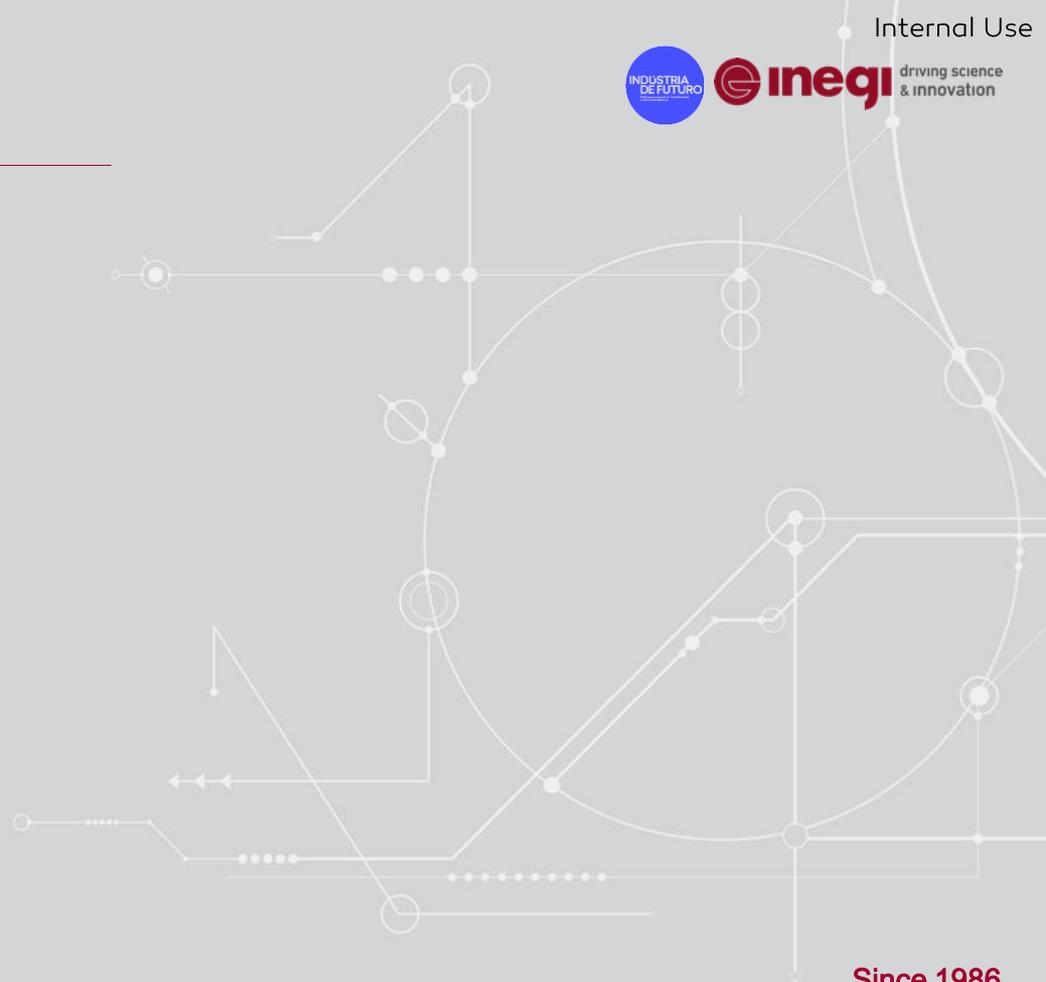




3.

Plano de ação para descarbonização dos processos térmicos industriais do Setor

- i. Eficiência energética
- ii. Integração de fontes renováveis de energia
- iii. Gases Renováveis
 - Hidrogénio Verde
 - Biometano

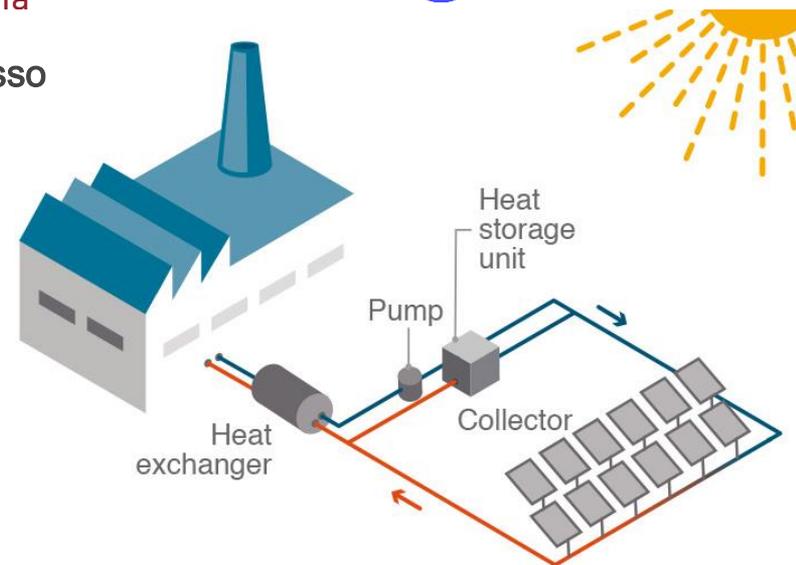


Since 1986

Plano de ação | Integração de Fontes Renováveis de Energia

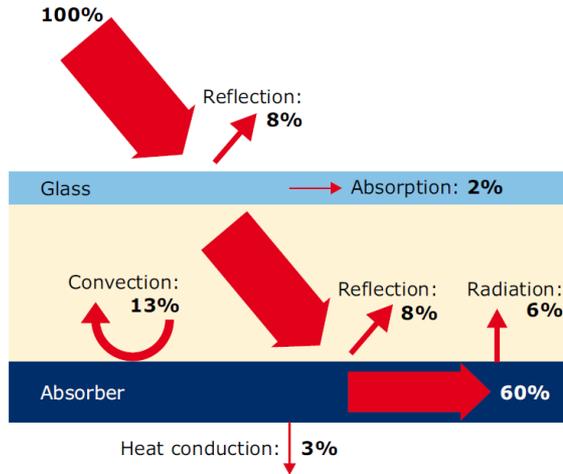
Integração de tecnologias solar térmico para calor de processo

- A integração de tecnologias solares para calor de processo é ainda muito apoiada por financiamento de investigação e demonstração e apoios governamentais;
- Há poucos fornecedores sistemas chave-na-mão destas tecnologias em todo o mundo;
- Há grande resistência por parte das grande indústrias consumidoras intensivas de energia;
- Para pequenas e médias indústrias a viabilidade económica do calor solar de processo é dificultada por elevados custos iniciais;
- As tecnologias SHIP precisam de ser adaptadas caso a caso.

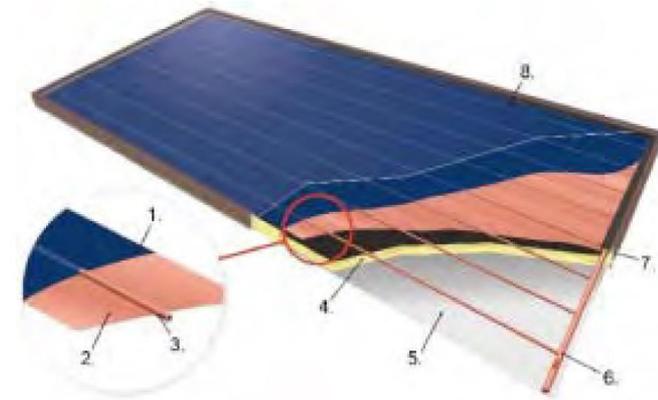


Plano de ação | Integração de Fontes Renováveis de Energia

Coletores Estacionários | Coletor de Placa Plana

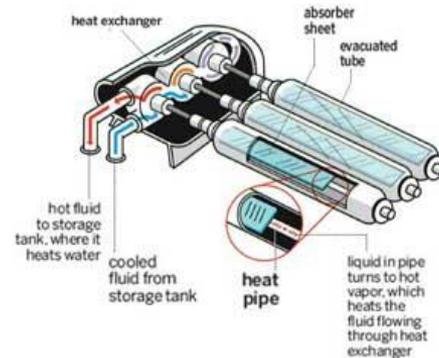
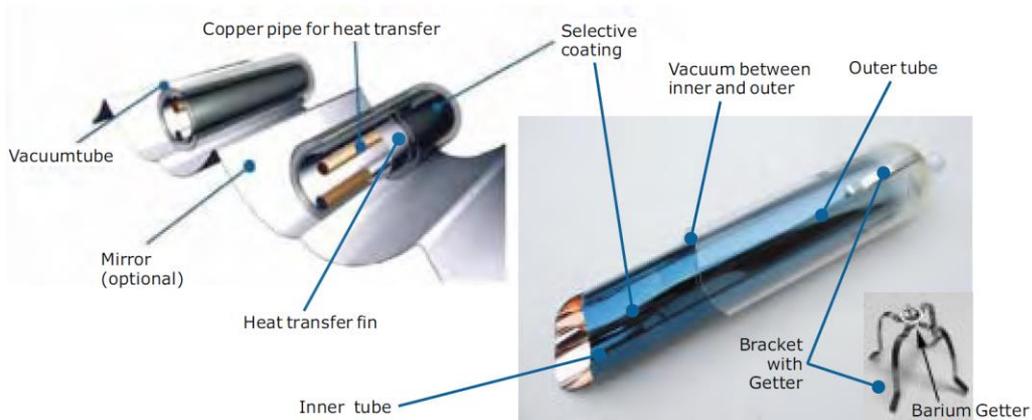


1. Selective Coating
2. Absorber
3. Tube
4. Insulation
5. Rear panel
6. Manifold
7. Frame
8. Transparent cover



Processo	Temperatura [°C]
Secagem	30-90
Lavagem	40-80
Cozimento	95-105
Tratamento térmico	40-60

Coletores Estacionários | Coletor de Tubos de Vácuo

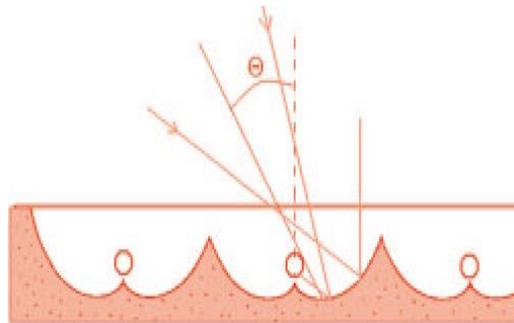
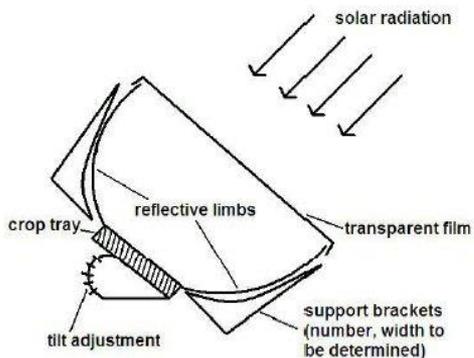


Plano de ação | Integração de Fontes Renováveis de Energia

Coletores Estacionários | Coletores CPC



Coletores CPC da MCG

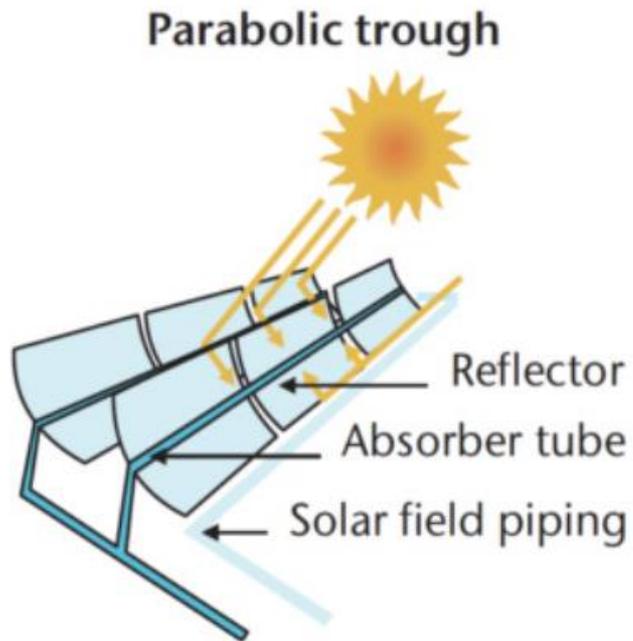


Fator de concentração máximo

$$C_{\max} = \frac{1}{\sin \theta}$$

Plano de ação | Integração de Fontes Renováveis de Energia

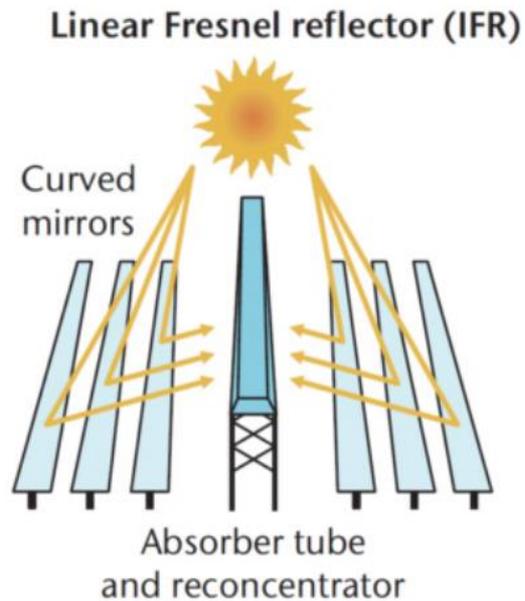
Concentradores com Seguimento | Cilindro-Parabólico



Concentradores Cilindro-Parabólico da Rackam instalados na Silampos – Projeto PRODUTECH PSI

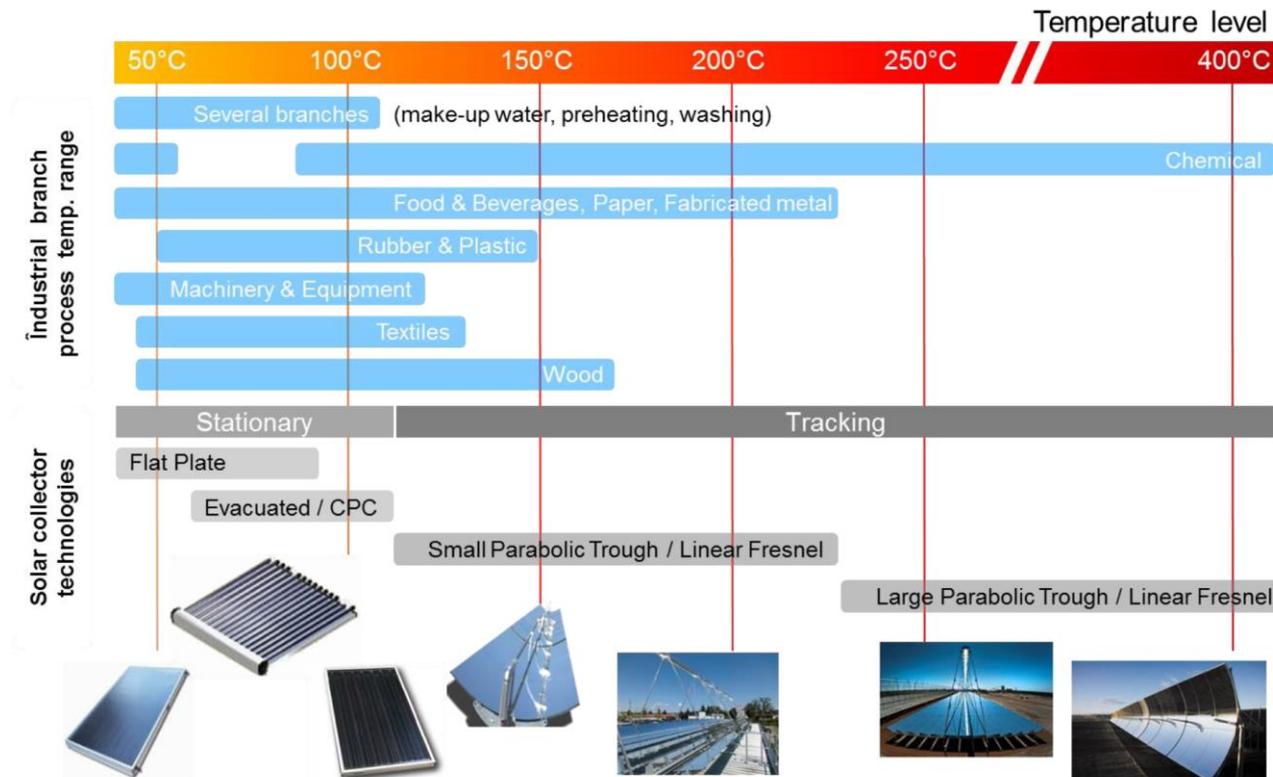
Plano de ação | Integração de Fontes Renováveis de Energia

Concentradores com Seguimento | Linear Fresnel



Plano de ação | Integração de Fontes Renováveis de Energia

Aplicações Industriais



Plano de ação | Integração de Fontes Renováveis de Energia

PROCESSO DE INTEGRAÇÃO

Pré-avaliação

O objetivo da pré-avaliação é descobrir rapidamente se o calor solar pode ser utilizado numa empresa. Com base nalguns dados-chave pode ser tomada uma decisão utilizar ou não o calor solar.

Estudo de viabilidade

Para o estudo de viabilidade deve ser realizada uma auditoria energética rigorosa e a identificação dos pontos de integração. Com base nesta informação e a análise dos melhores pontos de integração deverão ser criados cenários e analisados do ponto de vista económico. O resultado final deverá ser um estudo com as melhores opções, otimizadas técnica e economicamente.

Planeamento e Conceção

Discussão das diferentes possibilidades de integração do calor de processo solar com base do estudo de viabilidade. O planeamento detalhado é então levado a cabo com base na opção escolhida. Poderá ser necessário repetir algumas das etapas realizadas no estudo de viabilidade para o projeto final e conceção.

Plano de ação | Integração de Fontes Renováveis de Energia

Caso de Estudo (1)

Esta instalação está localizada numa indústria metalúrgica para fornecimento de calor para processos de **banhos** e **secagem** (temperaturas que variam de 50 °C a 160 °C), chegando até 180 °C na saída dos coletores. A instalação foi projetada para gerar 67 kWt (área total de coletores de 108 m²) através de coletores parabólicos de pequena escala, utilizando para isso óleo térmico como fluido de trabalho. O sistema é hibridizado com um queimador de gás natural.



Consumos antes da integração

Consumo Propano no Banho	7 141 kg/ano
Consumo Propano na Estufa	9 043 kg/ano
Consumo Propano Túnel	16 184 kg/ano
Custo	19 955 €/ano

Poupanças

Consumo Propano Evitadas	9 232 kg/ano
Poupanças Económicas	11 382 €/ano
Emissões CO ₂ evitadas	31,5 ton.CO ₂ /ano
Diminuição Consumo Propano	54 %

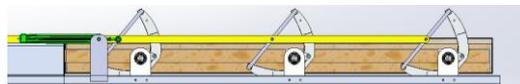
Plano de ação | Integração de Fontes Renováveis de Energia

Caso de Estudo (2)

SHIP

Desenvolvimento de sistema holístico de integração direta de tecnologias solares térmicas de média temperatura em processos industriais.

- Otimização eficiência de concentradores solares CPC (produção nacional) e desenvolvimento de sistema anti-estagnação;
- Desenvolvimento de sistema de armazenamento de energia térmica - PCM.



Principais conclusões:

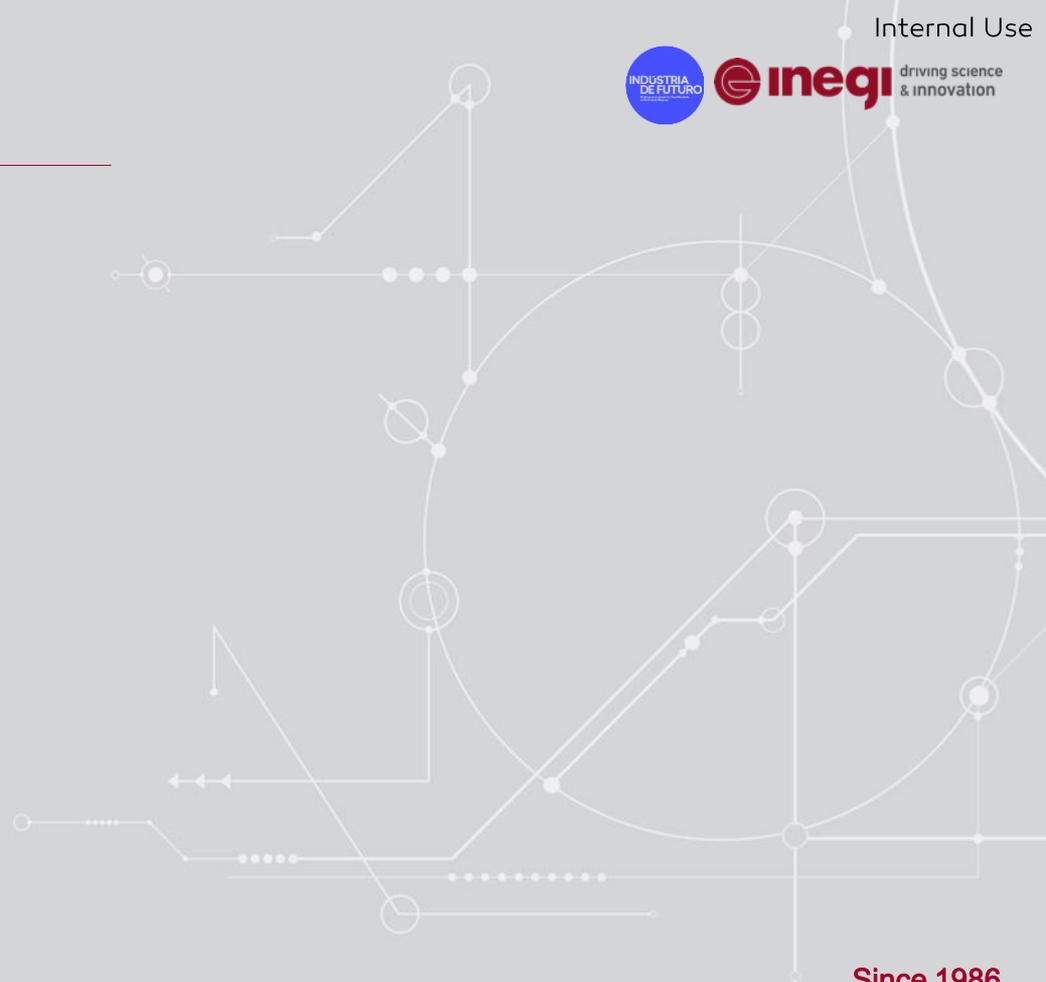
- O sistema pode ser replicável numa multiplicidade de setores industriais;
- A implementação destes sistemas potencia a diminuição da fatura energética e da pegada carbónica dos processos produtivos;
- Comprovação da viabilidade económica desde que se garanta o correto dimensionamento do mesmo e a adequada gestão de energia;



3.

Plano de ação para descarbonização dos processos térmicos industriais do Setor

- i. Eficiência energética
- ii. Integração de fontes renováveis de energia
- iii. Gases Renováveis
 - Hidrogénio Verde
 - Biometano

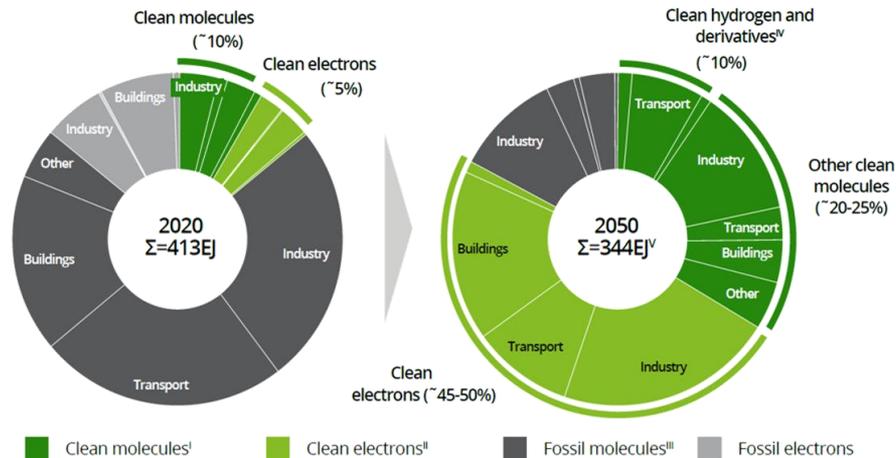
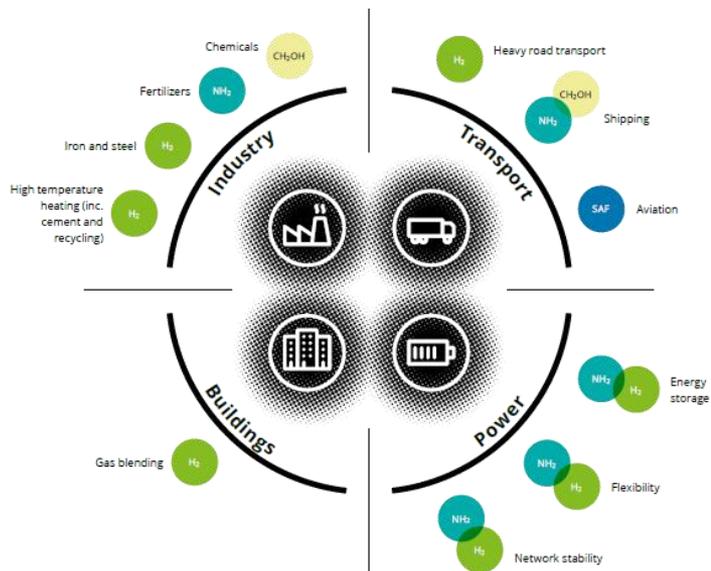
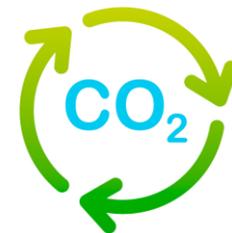


Since 1986

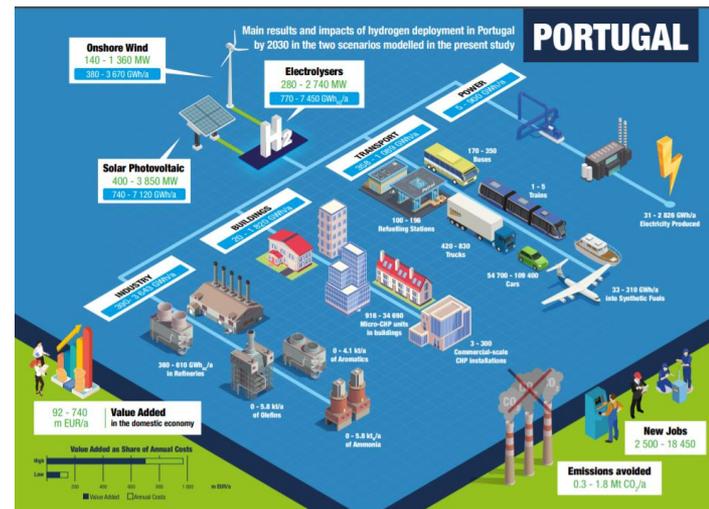
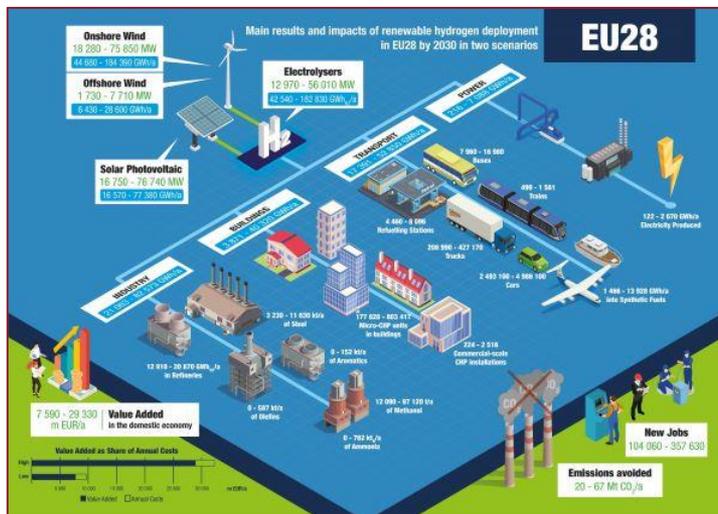
Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Transição Energética

O papel das moléculas “verdes”, para além dos eletrões “verdes” - A procura!



Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde



Fonte: Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU)
Study on Opportunities arising from the inclusion of Hydrogen Energy Technologies in the National



Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Challenge

Hydrogen is the best or only choice for at-scale decarbonization of key segments, for example:

Achieving
deep
decarboni-
zation



H₂ TO
DECARBONIZE
THE GAS GRID



FUEL CELLS/
SYNFUELS FOR HEAVY
TRANSPORT AND
LONG
DISTANCES



HIGH-GRADE
HEAT FOR
INDUSTRY &
IN STEEL



ULTRA-LOW-
CARBON H₂ AS
FEEDSTOCK,
E.G., AMMONIA

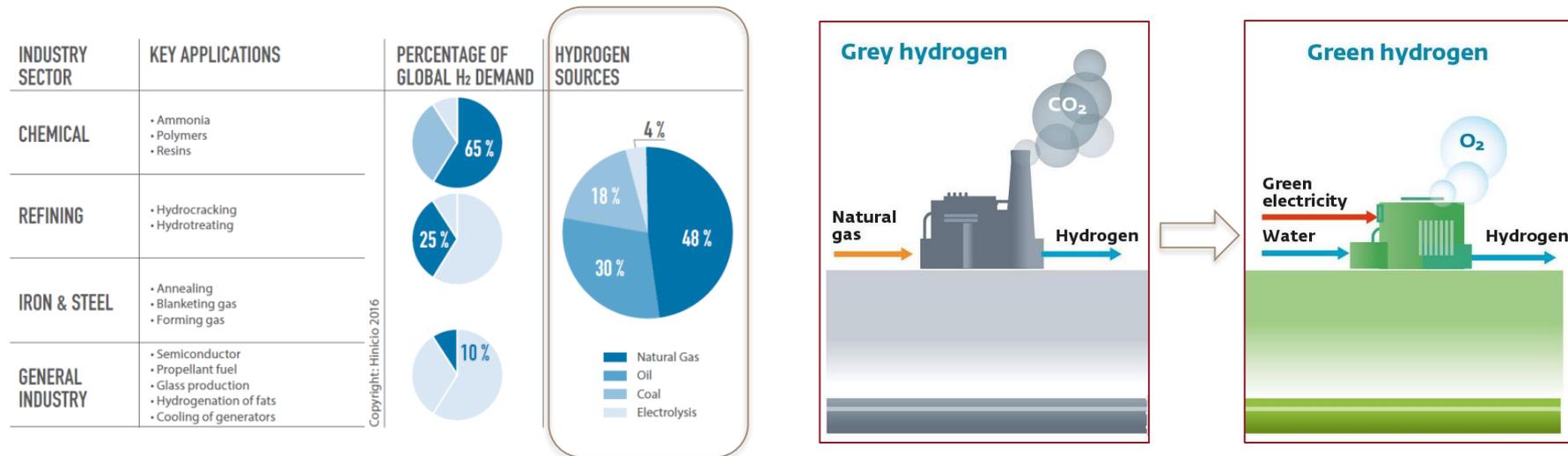
Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Usos finais | Indústria

H₂ “Verde” como matéria prima para descarbonização do setor industrial

O hidrogénio é utilizado igualmente como matéria-prima na indústria, maioritariamente na produção de amónia, metanol e refinação de petróleo, e é um subproduto de processo em alguns subsectores da indústria química inorgânica.

Figure 4: Global hydrogen demand and production sources

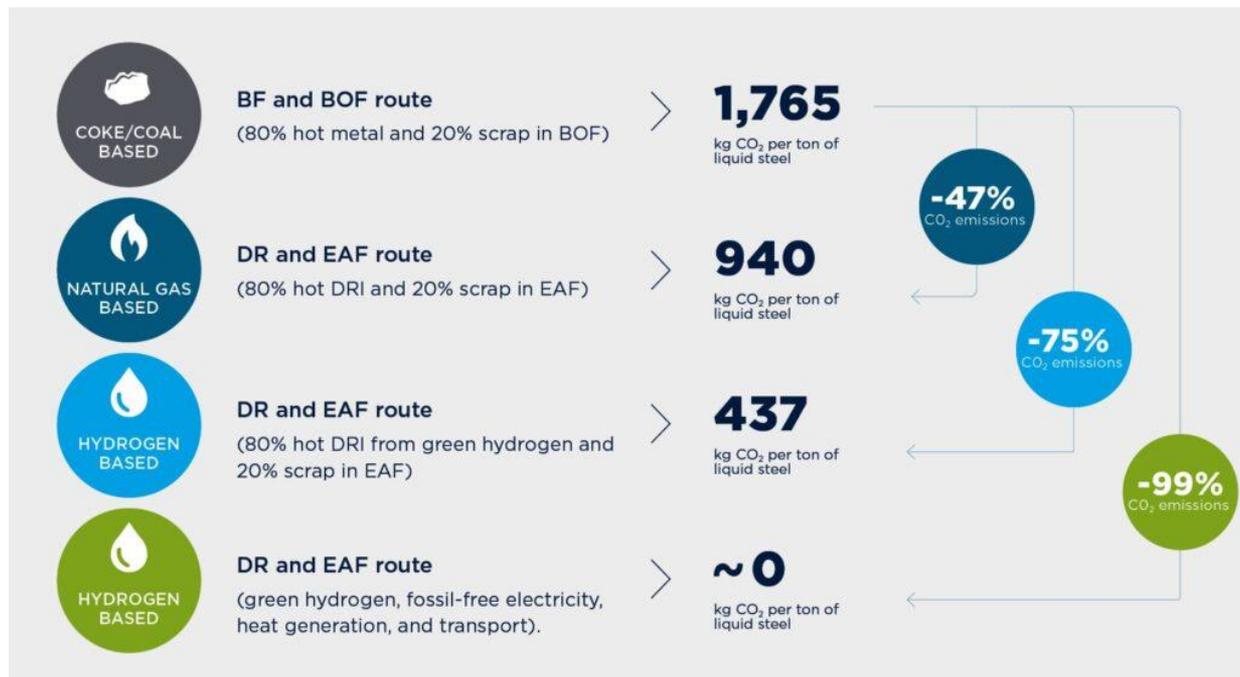


Source: IRENA based on FCH JU (2016).³

FONTE: Hydrogen From Renewable Power Technology Outlook For The Energy Transition – IRENA

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Green Hydrogen as feedstock for decarbonization of the industrial sector | STEEL



Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Contribuição do H₂ “Verde” na produção de calor em processos térmicos industriais

- Os processos Térmicos Industriais de Elevada Temperatura (HT) têm um peso significativo no Consumo de Energia do Setor Industrial
 - Atualmente, o **calor de processo** (HT) é quase exclusivamente gerado a partir de combustíveis fósseis, de elevada densidade energética.
 - Há um número limitado de opções de **baixo carbono** que podem substituir o uso de combustíveis fósseis para essa finalidade.
 - Para fornecimento de calor de processo de até 350-400 °C, a **eletrificação** poderá ser possível, mas para temperaturas mais altas a eletrificação não é uma opção;
 - **Ainda que a eletrificação dos processos térmicos possa ser possível a total eletrificação não é viável devido aos investimentos necessários nas infraestruturas elétricas nacionais e da indústria!**
 - Os únicos vetores energéticos/combustíveis de baixo carbono com potencial para substituição dos combustíveis fósseis dão a biomassa, **biometano** e **hidrogénio**.

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Contribuição do H₂ “Verde” como combustível em processos térmicos industriais

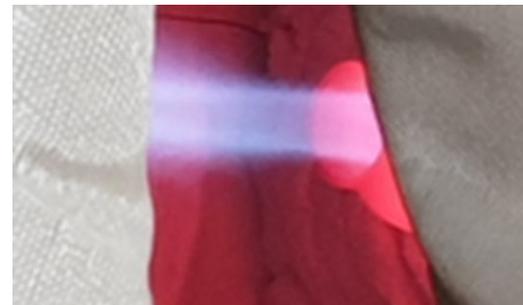
OPORTUNIDADES

- O **hidrogénio** tem potencial para substituir/complementar (**blending**) o **gás natural** como fonte de **calor e energia na indústria**, incluindo áreas em que a **eletrificação não é possível**, podendo obrigar contudo à **substituição de equipamentos** mas sem necessidade de elevado grau de pureza do hidrogénio.
 - De acordo com *Marcogaz*, muitos processos industriais (exceto metano usado como matéria-prima) devem ser capazes de aceitar **200 vol. % H₂ sem modificação**.
 - Observa-se um grande número de trabalhos de investigação e desenvolvimento para que as Indústrias consumidoras de gás natural, possam alimentar aos seus processos térmicos misturas de GN e H₂ até 30 vol. % de H₂ sem substituição de equipamentos (queimadores, fornos, caldeiras,...), apenas com adaptação dos mesmos.
- Em setores que utilizam altas temperaturas, como na fabricação do aço e do cimento, o **hidrogénio** pode ser uma alternativa de médio prazo (2030) válida para a **descarbonização**, dependendo da **evolução da tecnologia** e condições de mercado.

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Indústria | Questões

- Qual o desempenho dos sistemas de queima existentes ao misturar hidrogénio com gás natural?
- Os sistemas de combustão existentes podem ser utilizados de forma flexível para a mistura completa de composições de combustível: 100% hidrogénio, 100% gás natural e todas as misturas de hidrogénio e gás natural intermédias?
- Como podemos efetuar medições (visualização de chama de emissão, deteção de chama, etc.) em chamas de hidrogénio puro?
- Quais são as alterações esperadas na atmosfera do forno e nas emissões?
- As alterações na atmosfera do forno têm impacto na vida útil do refratário e na qualidade do produto?



Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

	Gás Natural	Hidrogénio
Prós	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Baixo custo económico ✓ Boa acessibilidade de transporte ✓ Tecnologias bem desenvolvida 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fim de emissões com efeito de estufa ✓ Armazenamento do excesso de energia renovável
Contras/Necessidades	<ul style="list-style-type: none"> × Emissões de CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Upgrade Equipamentos ➤ Normas de segurança ➤ Armazenamento ➤ Transporte

Hidrogénio vs Gás Natural

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Table 1. Physical parameters methane and hydrogen (combustion and safety

related)	CH ₄	H ₂
LEL, %	5.3	4.0
UEL, %	15	75.3
Minimum ignition energy (stoichiometric mixture)	0.274	0.017
AIT, °C	630	520
Wobbe index, MJ/m ³ (25, 0)	53.47	48.35
Net calorific value, MJ/m ³ n	35.89	10.79
Gross calorific value , MJ/m ³ n	39.89	12.75
Density, kg/m ³ n	0.72	0.09
Burning velocity, m/s	0.4	3.2

Table 2. Changes in main components in the combustion gases at $\lambda=1$

	CH ₄	H ₂
H ₂ O, mole%	18.3	32.4
N ₂ , mole%	70.1	63.8
CO ₂ , mole	8.5	0
Ar, mole%	0.8	0.8
Other components, %	0.8	1.1
T _{adiabatic flame temperature} °C	1953	2108
Water dewpoint (at 3% O ₂ in flue gas)	59.2	72.6

As diferenças nas propriedades físicas e químicas afetam:

- Segurança
- Transporte/distribuição do gás
- Comportamento de combustão (utilização final)
- Qualidade do produto (aquecimento direto)

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

	H ₂	NG	Considerações
PCI (kWh/Nm ³)	2.8	10.6	Necessidade de aumento dos caudais Adaptação de queimadores e fornos
Densidade (kg/Nm ³)	0.08	0.70	Necessidade de aumento dos caudais Mistura difícil
Temperatura adiabática de chama (°C)	2 254	2 068	Formação de NO _x
Velocidade de chama (m/s)	0.27	0.04	Redesenho de queimadores
Emissões específicas (kgCO ₂ /kWh)	0	0.21	Sem emissões de CO ₂

A substituição total não é ainda possível.

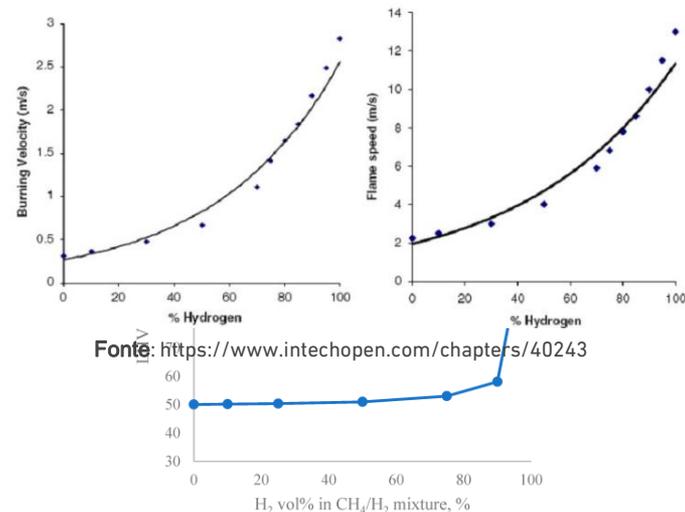
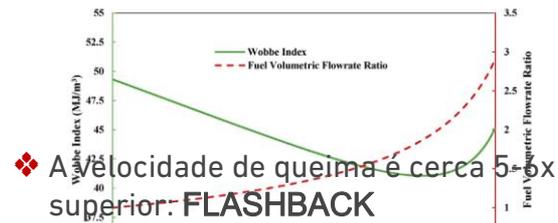
A alternativa passa por utilizar misturas dos dois gases.

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Propriedades – físicas e químicas

Propriedades	Hidrogénio	Gás Natural
Massa Molar [g/mol]	2,02	16,04
Densidade [kg/m ³]	0,0838	0,651
cp [kJ/kg/k]	14,4	2,21
Lower Heating Value: - Por massa [Mj/kg] - Por volume [Mj/m ³]	120 11	48 35
Wobbe index (Mj/m ³)	53,47	48,35
Temperatura de auto- ignição [°C]	560	600
Velocidade laminar de queima [m/s]	3,1	0,4

Fonte: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319916321620>



Fonte: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/10/3582>

Hidrogénio vs Gás Natural

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Propriedades – físicas e químicas

	CH ₄	H ₂
LEL, %	5.3	4.0
UEL, %	15	75.3
Minimum ignition energy (stoichiometric mixture)	0.274	0.017
AIT, °C	630	520
Wobbe index, MJ/m ³ (25, 0)	53.47	48.35
Net calorific value, MJ/m ³ n	35.89	10.79
Gross calorific value , MJ/m ³ n	39.89	12.75
Density, kg/m ³ n	0.72	0.09
Burning velocity, m/s	0.4	3.2

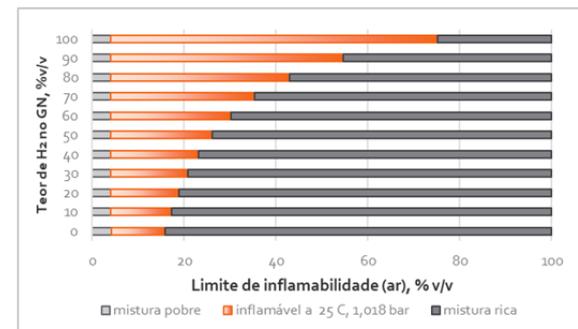
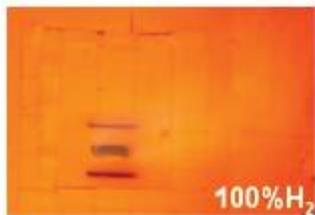
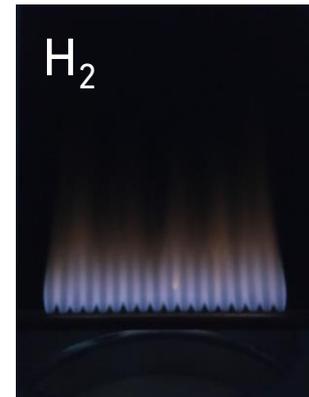
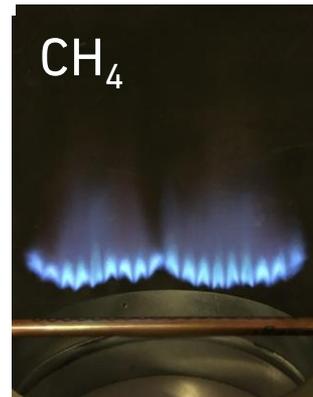
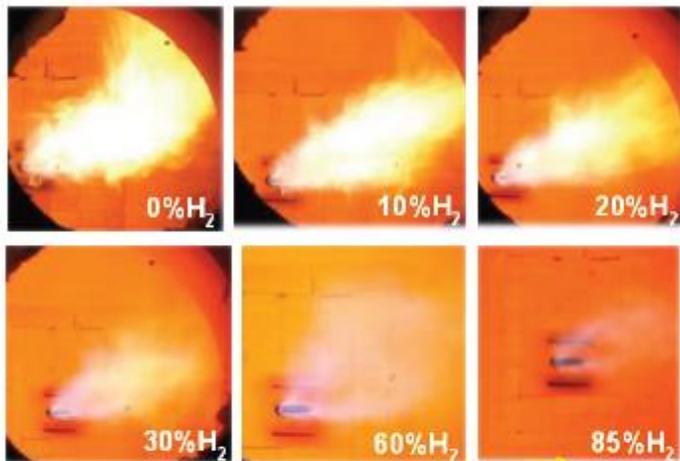
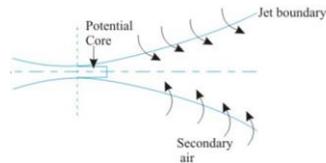


Figura 6. 5 – Estudo dos limites de inflamabilidade de misturas H₂/GN/ar, para uma pressão de 1,018 bar e uma temperatura de 25°C, em função da percentagem de H₂ no GN.

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Propriedades – físicas e químicas



Temperatura de Chama
Velocidade de chama (m/s)

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



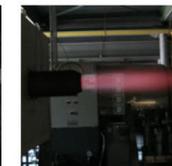
100% natural gas



Ratio of natural gas/hydrogen 40/60



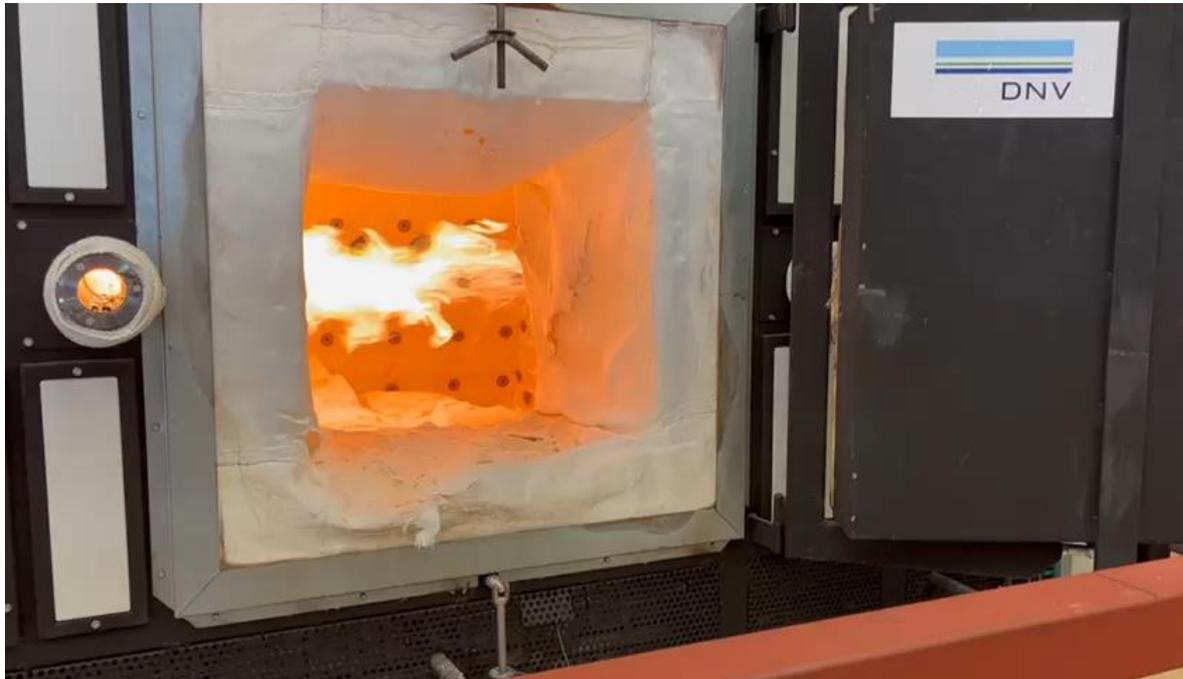
Ratio of natural gas/hydrogen 20/80



100% hydrogen

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Propriedades – físicas e químicas



Temperatura de Chama
Velocidade de chama (m/s)

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Propriedades – físicas e químicas

	Hydrogen	Natural gas
Flammable range	Ignites in a much wider mix range (4% to 75% of volume)	Narrow flammability mix range (5.3% to 15% of volume)
Ignition energy	Ignitable by low energy sources - phones, and human static electricity (0.020mJ)	10 times higher than hydrogen (0.29mJ)
Flame velocity	3.2 m/s 8 times faster flame velocity than NG - much higher explosion pressure potential	0.4 m/s
Dispersion	Disperses much faster than NG. Limited potential for ground accumulation	Large gas cloud may form. In some conditions as heavy gas on the ground (LNG)

6 DNV © 29 MARCH 2023 

GN vs H2 - Resumo

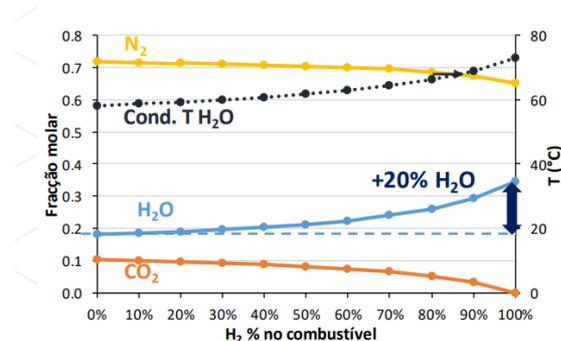
Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Diferenças na combustão | Emissões Gasosas

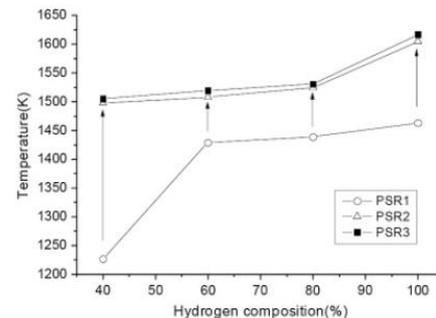
Emissões	Hidrogénio	Gás Natural
H ₂ O (% mole)	32,4	18,3
N ₂ (% mole)	63,8	70,1
CO ₂ (% mole)	0	8,5
Ar (% mole)	0,8	0,8
Other components	1,1	0,8
Temperatura de chama [K]	2108	1953

Fonte: <https://www.industriadefuturo.pt/wp-content/uploads/2023/03/Sander-Gersen-DNV.pdf>

Hidrogénio vs Gás Natural



Fonte: <https://www.industriadefuturo.pt/wp-content/uploads/2023/03/4.-Ines-Rondao-CTCV-1.pdf>

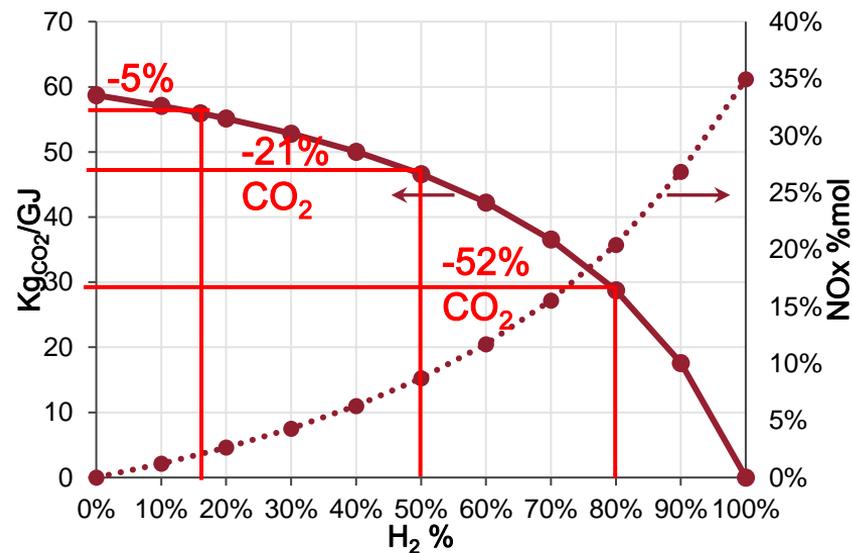


Fonte: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.04.036>

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Diferenças na combustão | Emissões Gasosas

- 16% H₂ → -5% CO₂
(limite de interoperabilidade atual)
- 50% H₂ → -21% de CO₂
- 80% H₂ → -52% de CO₂
- **35% de aumento da formação de NO_x**, a emissão pode ser evitada por:
 - Redução do O₂ na combustão - menos oxidação do N₂ para NO_x.
 - Recirculação dos gases de combustão, para a reforma.



Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde



Diferenças na combustão | Emissões Gasosas

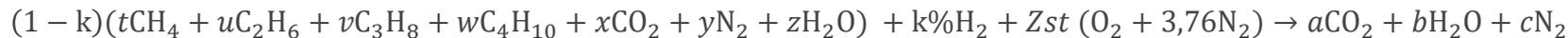
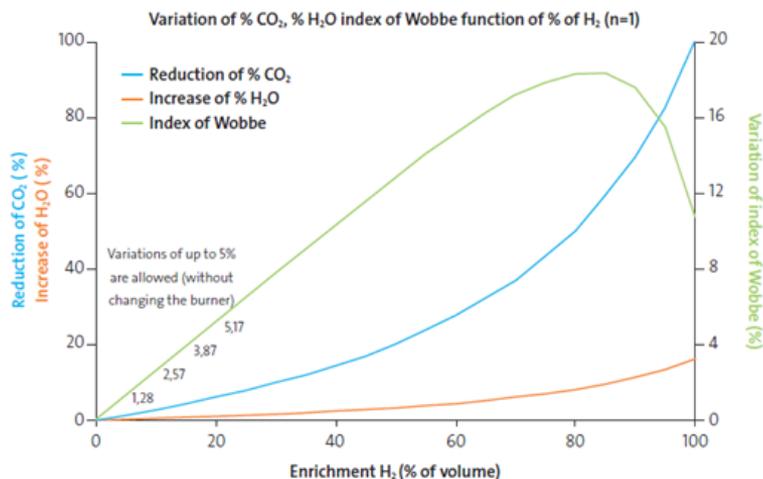


Figure 1. Variation of the composition of the products of complete combustion (CO_2 , H_2O) and variation of the Wobbe Index, for different mixtures of natural gas and hydrogen.



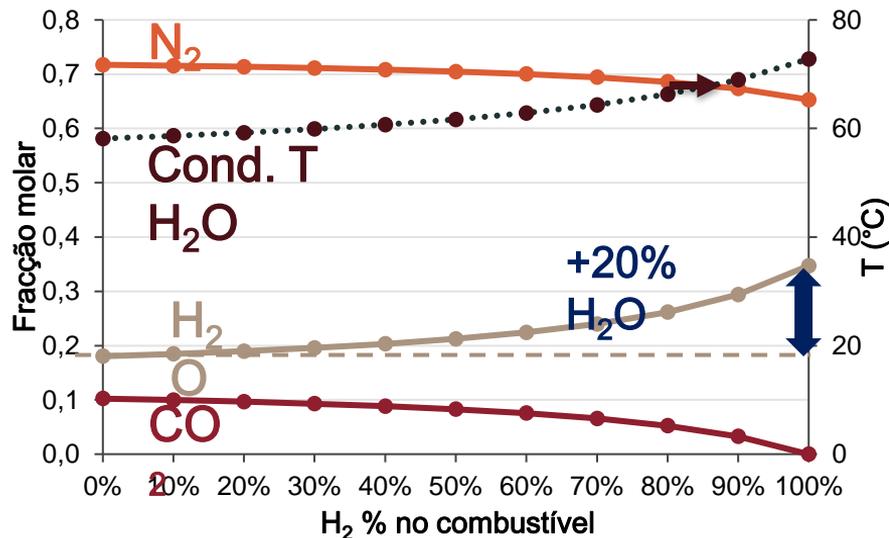
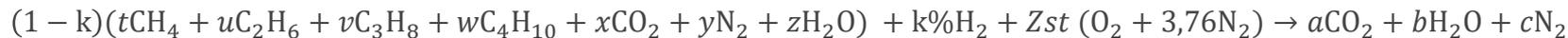
Os gases de escape devem estar a uma temperatura mais elevada do que a temperatura de condensação.

A quantidade de água aumenta cerca de 20%, mas ao mesmo tempo a temperatura de condensação aumenta.

A temperatura de condensação depende também da relação ar-combustível.

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Diferenças na combustão | Emissões Gasosas



Os gases de escape devem estar a uma temperatura mais elevada do que a temperatura de condensação.

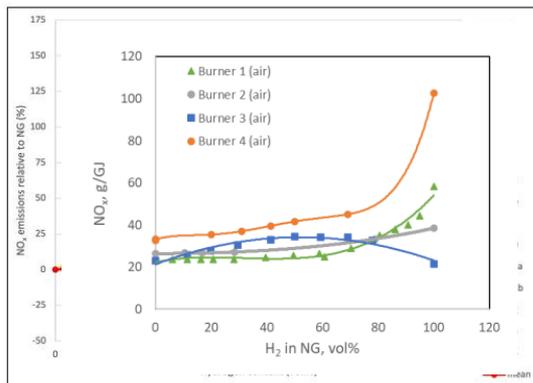
A quantidade de água aumenta cerca de 20%, mas ao mesmo tempo a temperatura de condensação aumenta.

A temperatura de condensação depende também da relação ar-combustível.

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Aumento nas emissões de NOx

- ❖ Devido a temperatura da chama mais elevada à um consequente aumento das emissões de NOx



Fonte: <https://eprints.whiterose.ac.uk/189411/1/elementa.2021.00114.pdf>

Fonte: <https://www.industriadefuturo.pt/wp-content/uploads/2023/03/Sander-Gersen-DNV.pdf>

Queimador	Tipo de queimador	Indústria
1	Escoamento forçado	Produção de vapor de água
2	Rotativo	Indústria do metal
3	Alta velocidade	Indústria da cerâmica
4	Ar quente	Indústria do vidro

Hidrogénio vs Gás Natural

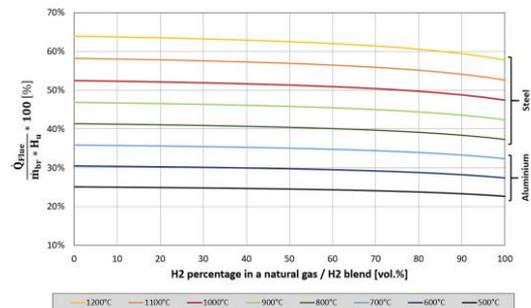
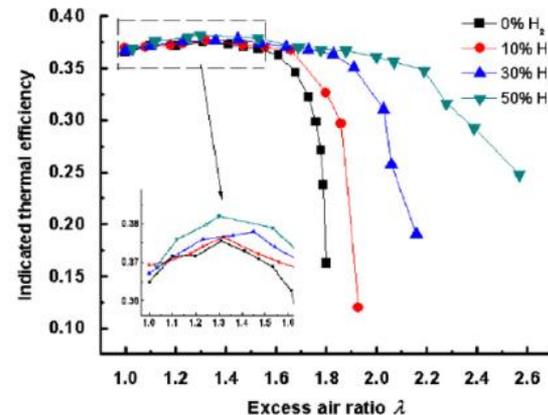
Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Eficiência térmica

Devido à redução do caudal mássico dos gases de combustão ser mais acentuada do que o aumento do calor específico para um fluxo energético igual, a introdução de hidrogénio promove a redução de eficiência térmica dos equipamentos.

Para reduzir este impacto é necessário otimização detalha do equipamento.

Hidrogénio vs Gás Natural



Fonte: https://www.researchgate.net/publication/223453630_Experimental_study_on_thermal_efficiency_and_emission_characteristics_of_a_lean_burn_hydrogen_enriched_natural_gas_engine

Fonte: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.228>

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Barreiras tecnológicas	Problemas – Solução	Impacto
Transferência de calor por radiação	Uma emissividade mais baixa resulta numa diminuição do fluxo de calor por radiação, o que pode ser resolvido através da utilização de aditivos	Estufas Fornos (Vidro)
Transferência de calor por convecção	A redução da necessidade de ar de combustão na queima reduz a transferência de calor por convecção. Contudo aplicar a recirculação de gases, recalibração de equipamento pode minimizar este problema	Todos os equipamentos
Emissões Nox	Devido a temperatura da chama mais elevada à um conseqüente aumento das emissões de Nox que pode ser mitigado por recirculação dos gases de exaustão, adição de steam ou um posterior tratamento.	Todos os equipamentos
Composição do combustível	Adição de hidrogénio pode ter um impacto no produto final, desta forma, é necessário testar para se poder aplicar medidas, como por exemplo, ajustar os parâmetros de combustão.	Todos os equipamentos com queimador direto
Tubagens e equipamentos	Necessário garantir a compatibilidade dos equipamentos atualmente instalados	Todos sectores
Desenvolvimento de queimadores de hidrogénio	No que diz respeito a resistência dos materiais a temperatura	Todos os equipamentos

Hidrogénio vs Gás Natural

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Equipamentos da indústria

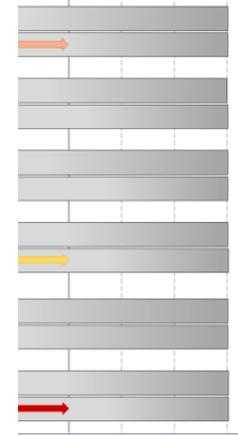
Table 4-2: Table to show which subcomponents of industrial equipment are likely to require modification or replacement on hydrogen conversion. x represents those that need replacement and ✓ represents those that are already capable of hydrogen operation

Subcomponents of industrial equipment						
	Fuel distribution system	Combustion Air system & FGR	Bumer system	Post combustion system & FGT	ID fans	EC&I
Food and drink						
Steam Boiler	x	x	x	x	x	x
Hot water boiler	x	x	x	x	x	x
Oven	x	x	x	✓	x	x
Direct dryer	x	x	x	✓	x	x
Chemicals						
Steam boiler	✓	x	x	x	✓	✓
Hot water boiler	✓	x	x	x	✓	✓
Oven	✓	x	x	✓	✓	✓
Furnace	✓	x	x	x	✓	✓
Direct dryer	✓	x	x	✓	✓	✓
Vehicle Manufacturing						
Steam boiler	x	x	x	x	x	x
Furnace	x	x	x	x	x	x
Direct dryer	x	x	x	✓	x	x
Oven	x	x	x	✓	x	x
Basic metals						
Steam boiler	x	x	x	x	x	x
Hot water boiler	x	x	x	x	x	x
Oven	x	x	x	✓	x	x
Furnace	x	x	x	x	x	x
Refining						
Steam boiler	✓	x	x	x	✓	✓
Furnace	✓	x	x	x	✓	✓
Paper						
Steam Boiler	x	x	x	x	x	x
Hot water boiler	x	x	x	x	x	x
Direct dryer	x	x	x	✓	x	x
Glass						
Hot water boiler	x	x	x	x	x	x
Furnace Glass	x	x	x	x	x	x
Furnace >600°C	x	x	x	x	x	x
Lehr kiln	x	x	x	✓	x	x
Ceramics						
Hot water boiler	x	x	x	x	x	x
Ceramics kiln	x	x	x	x	x	x
Dryer Direct	x	x	x	✓	x	x
Lime						
Lime kiln	x	x	x	✓	x	x
Direct Dryer	x	x	x	✓	x	x
Other non-metallic minerals						
Hot water boiler	x	x	x	x	x	x
Kiln >600°C	x	x	x	✓	x	x
Dryer Direct	x	x	x	✓	x	x
Electrical and mechanical engineering						
Steam boiler	x	x	x	x	x	x
Hot water boiler	x	x	x	x	x	x
Oven	x	x	x	✓	x	x
Direct dryer	x	x	x	✓	x	x
Furnace	x	x	x	x	x	x

I Fuel Switching
ch and Development
ex R&D + Pilots
strations
:ial Readiness
ogy Readiness Level

EARLY DEVELOPMENT: SIMPLE SITE
LATE DEVELOPMENT: COMPLEX SITE

OTENTIAL ONGOING CONVERSIONS
OTENTIAL ONGOING CONVERSIONS



2030

Hidrogénio vs Gás Natural

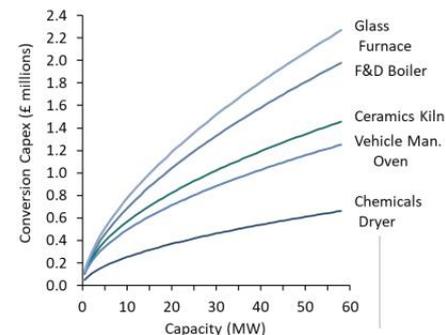
Fonte: <https://www.element-energy.co.uk/wordpress/wp-content/uploads/2020/01/Hydrogen-VRP-Industrial-Heating-Equipment-Pubuseu-report-Element-Energy-2019.pdf>

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Custos

- ❖ Na tabela seguinte, é apresentado as estimativas de capex para converter equipamentos a operar a gás natural para hidrogénio

Sector industrial	Equipamento	Custo de conversão / variação de tamanho (milhares de euros)	
		1 MW	10 MW
Alimentar	Steam boiler	198	800
	Oven	174	600
Químico	Steam boiler	116	568
	Oven	130	615
Papel	Direct Dryer	174	545
	Steam Boiler	220	870
Vidro	Glass Furnace	232	930
Cerâmica	Kiln	185	660

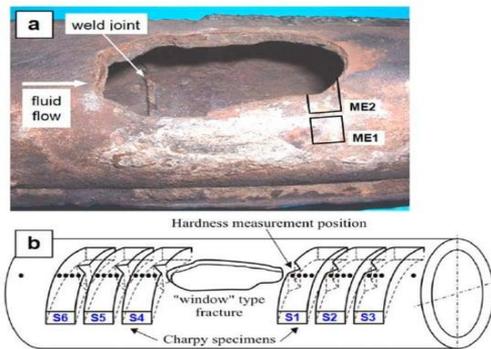


Fonte: <https://www.element-energy.co.uk/wordpress/wp-content/uploads/2020/01/Hy4Heat-WP6-Industrial-Heating-Equipment-Published-report-Element-Energy-2019.pdf>

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Segurança

- ❖ O hidrogénio é inodoro, incolor e insípido, por isso as fugas são difíceis de detetar.
- ❖ É um gás altamente inflamável.
- ❖ A molécula de hidrogénio é muito pequena.
- ❖ Corrosão induzida pelo hidrogénio.



Hidrogénio vs Gás Natural

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=r-8H5u4YzuY&ab_channel=AICHEAcademy

Fonte: <https://www.crowcon.com/pt/blog/the-dangers-of-hydrogen/>

Fonte: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423007000046>

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Impacto na Qualidade do Produto

- **Important:** burner performance changes upon hydrogen addition strongly depends upon the type of burner installed.

Ceramic industry
e.g. pipe-in-pipe burners
and high speed burners

Steel industry
e.g. high speed burners,
swirl burners, FLOX
burners etc.

Glass industry
e.g. pipe-in-pe burners, flat
flame burners, pencil
burners, oxy-fuel burners etc

Food/paper etc.
e.g. Forced draught burners

Direct heating: Product quality?

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=r-8H5u4YzuY&ab_channel=AICHEAcademy

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

Atualmente, já há empresas que comercializam a tecnologia para caldeiras a vapor que:

- Estão preparadas para a queima de 100% de hidrogénio ou para misturas de hidrogénio – gás natural;
- A tecnologia pode ser adaptada ao equipamento existente ou fornecido;
- Preparadas para gamas médias e altas potências.

Bosch



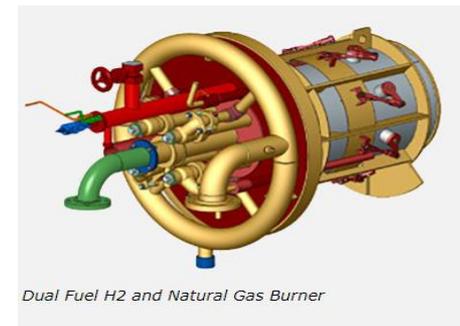
Fonte: <https://bosch-industrial.pl/en/solutions/decarbonization/>

STORK- A Fluor Company



Fonte: <https://www.stork.com/en/industries/hydrogen#H2-burners>

BrightGen



Fonte: <https://www.babcock.com/home/environmental/decarbonization/hydrogen-combustion/>

Caldeira de Vapor

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Hidrogénio Verde

H2 – Orange at Clemson University, USA

- ❖ System: 15 MW SGT-400 Turbina de combustão (gás natural)
- ❖ Fuel:
- ❖ Ano: 2020



CHP Plant at Clemson University

Berlin Brandenburg Airport, Alemanha

- ❖ System: 160 kW 2G agenitor 306 CHP unit
- ❖ Fuel: 100% H2 (by volume)
- ❖ Ano: 2012



CHP system runs on 100% clean hydrogen

Fonte: <https://chpalliance.org/wp-content/uploads/2019/08/CHP-Hydrogen-Roadmap-2.pdf>

Cogeração

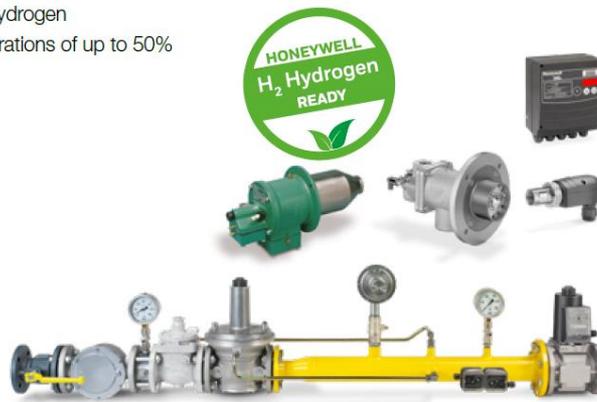
Honeywell


 kromschroder MAXON

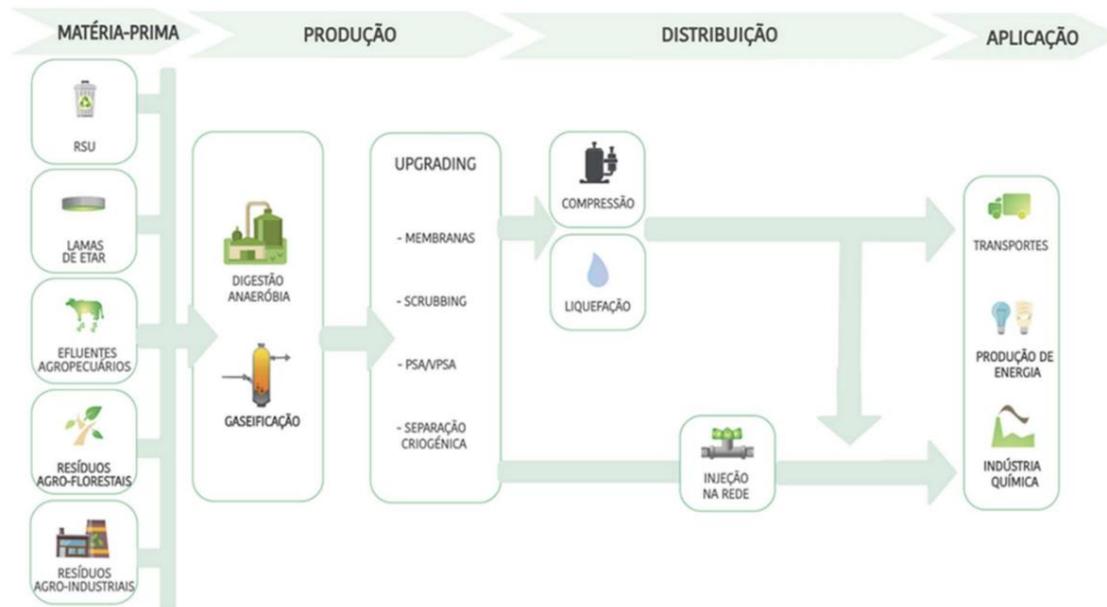
Products for hydrogen H₂

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



Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Biometano

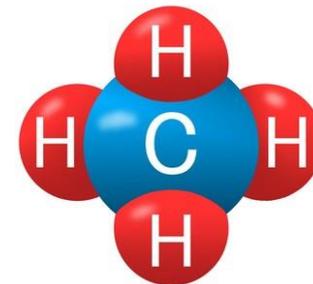


Fonte: Plano de Ação Português para o Biometano 2024-2040

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Biometano

Composição do gás	Biogás (%)	Biometano (%)	Gás natural (%)
Metano	50–75	94–99,9	93–98
Dióxido de carbono	25–45	0,1–4	1
Azoto	<2	<3	1
Oxigénio	<2	<1	-
Hidrogénio	<1	vestígios	-
Ácido sulfídrico (ppm)	20 – 20000	<10	-
Amoníaco	vestígios	vestígios	-
Etano	-	-	<3
Propano	-	-	<2
Siloxanos	vestígios	-	-
Água	2 – 7	-	-
Poder calorífico inferior (MJ/m ³)	16–28	36	37–40

Fonte: Plano de Ação Português para o Biometano 2024-2040



- A mesma molécula;
- Gases intermutáveis
- Sem necessidade de adaptação ou conversão de equipamentos

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Biometano



Visão Estratégica

“Promover o mercado do biometano como uma forma sustentável de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, descarbonizar a economia nacional, reduzir as importações de gás natural utilizado nos setores industriais e doméstico, incluindo o seu uso na mobilidade, aproveitando integralmente os recursos endógenos existentes em vários setores.”

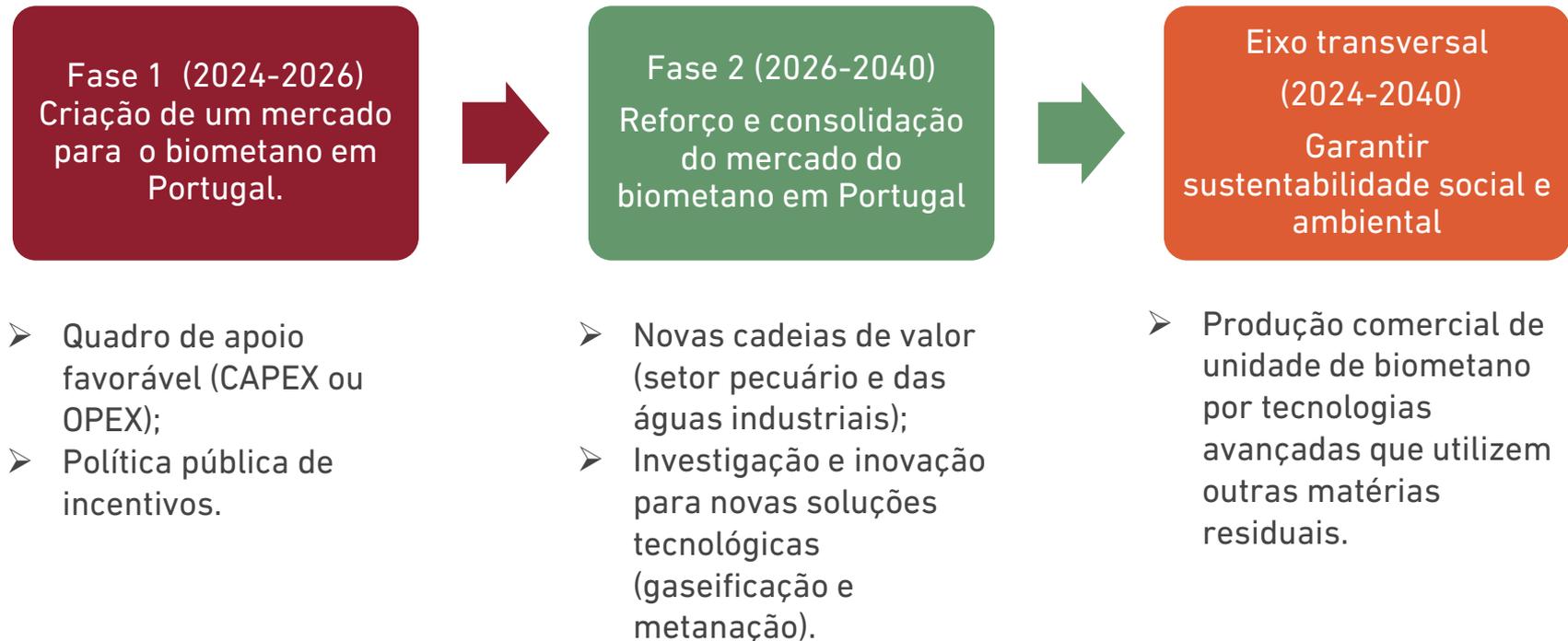
*“Estabelecer metas de incorporação de **biometano na RPGN**.*

- Substituir até 9,1% do consumo de GN em 2030*.
- Substituir até 18,6% do consumo de GN em 2040*.

** Em relação aos valores de consumo da RPGN previstos para 2030.”*

Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Biometano

FASES



Plano de ação | Integração de Gases Renováveis – Biometano

Setores Estratégicos





4.

Cenarização de possível integração dos gases renováveis



Since 1986

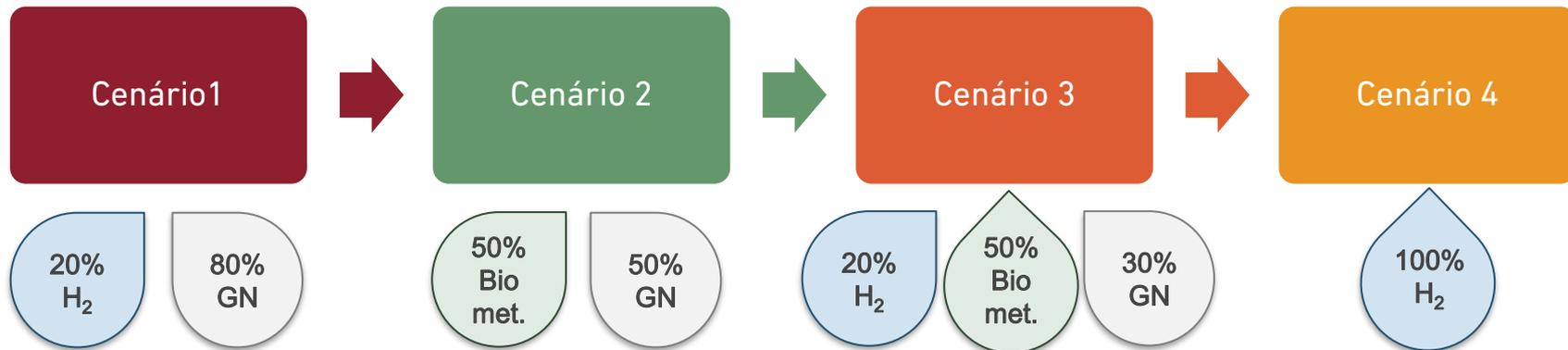
Cenarização de possível integração dos gases renováveis

→ 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).

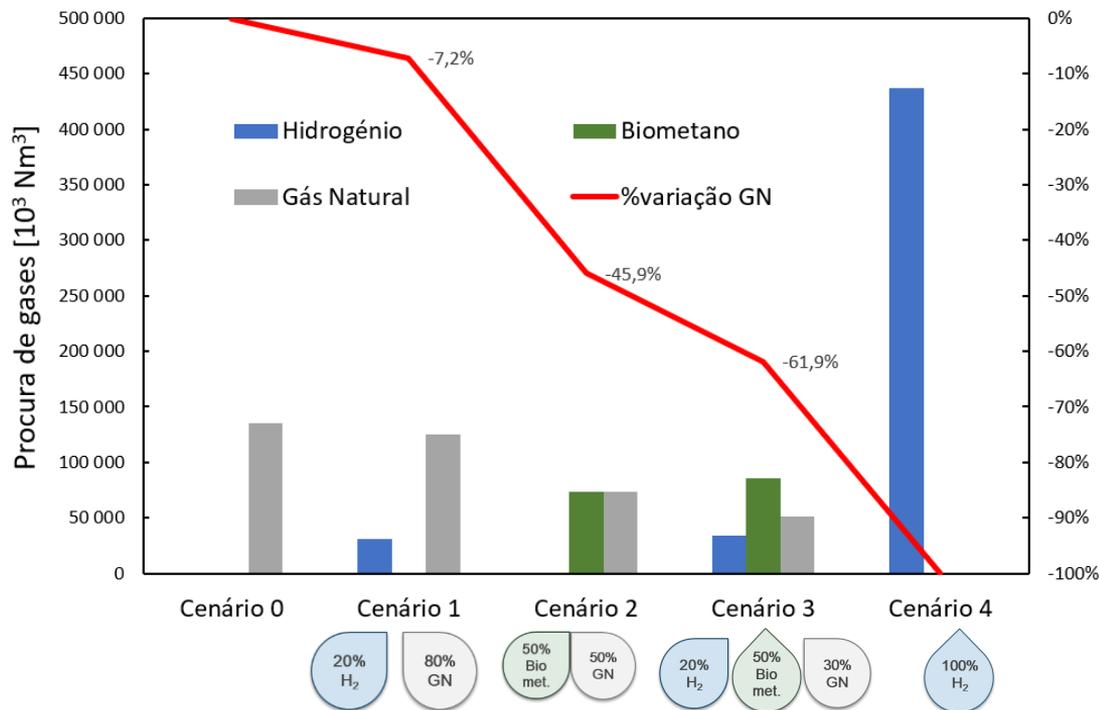
→ As substituições de GN por gases renováveis são feitas **em volume**.



Cenarização de possível integração dos gases renováveis

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

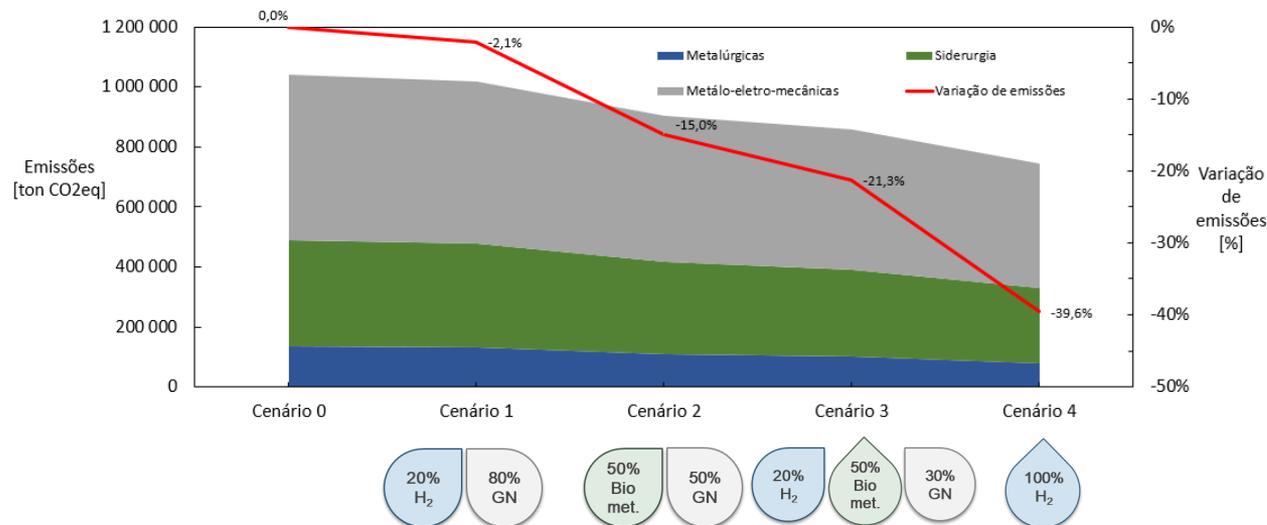
- O PCI do biometano é bastante próximo do GN e, portanto, o volume de GN substituído é semelhante ao de biometano que substitui.
- Já com o H₂, sendo o seu PCI cerca de 3 vezes inferior ao do GN, será necessário um maior volume de hidrogénio para substituir o mesmo conteúdo de GN.



Cenarização de possível integração dos gases renováveis

Emissões de CO2 do setor metalomecânico

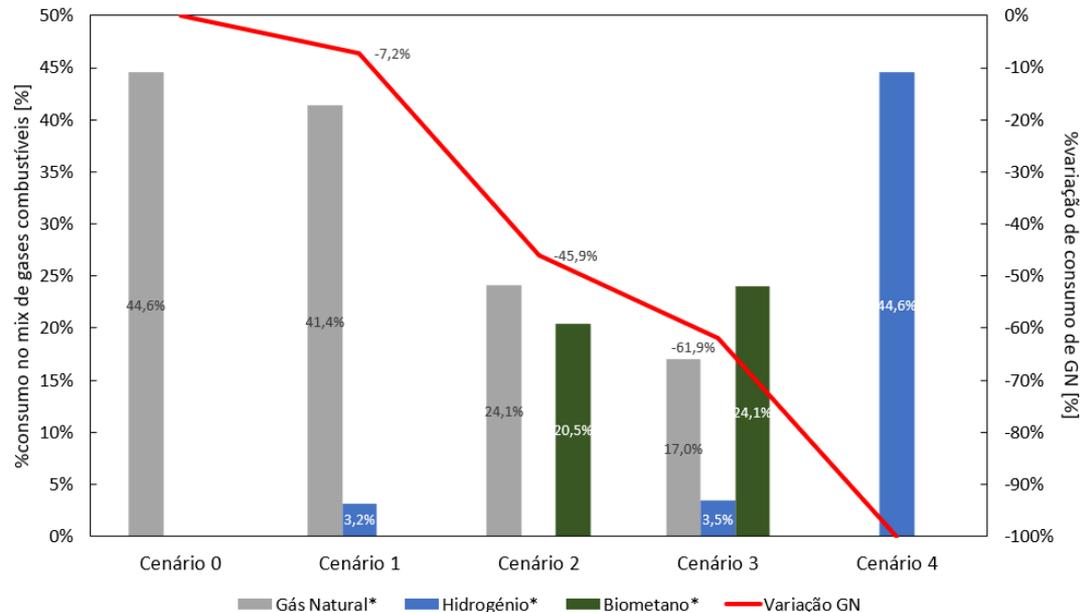
- As emissões absolutas do setor são consideravelmente diminuídas com a integração de gases renováveis.
- O limite de redução de emissões é de 39,6% e corresponde ao total das emissões de carbono do setor, no momento, produzidas pelo consumo de GN.



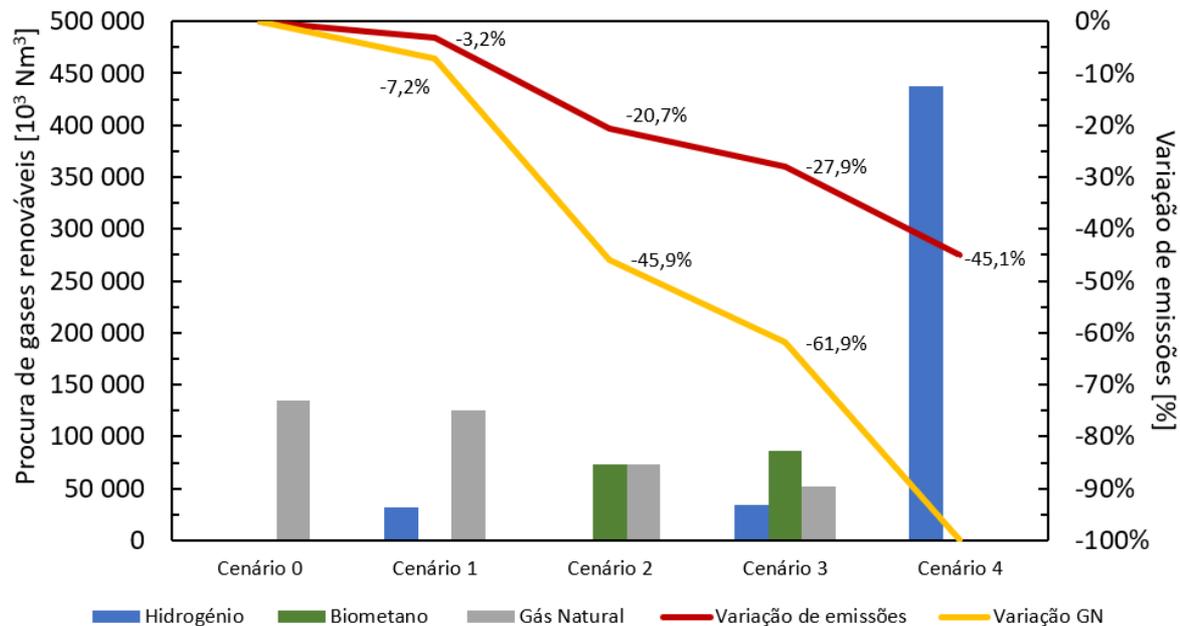
Cenarização de possível integração dos gases renováveis

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 6/7% do conteúdo energético do GN).
- No cenário 3, já há uma maioria dos gases renováveis no mix correspondendo a uma diminuição de 61,9% de consumo de GN.



Cenarização de possível integração dos gases renováveis



Resumo dos resultados do estudo

39,6%

Potencial de redução de emissões

Procura de gases renováveis superior à de GN

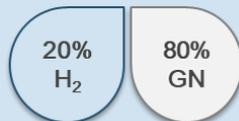
A partir do Cenário 2

27,2%

Energia do setor possível de descarbonizar (GN)

Cenarização de possível integração dos gases renováveis

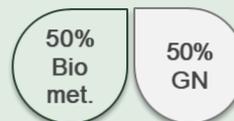
Integração de gases renováveis no setor metalo-mecânico



→ 1,9% do mix energético total em H₂

→ 2,1% de redução de emissões

→ 31 375 10³Nm³ H₂



→ 12,5% do mix energético total em biometano

→ 15% de redução de emissões

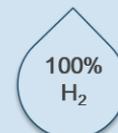
→ 73 078 10³Nm³ biometano



→ 2,1% de H₂ e 14,7% de biometano do mix energético

→ 21,3% de redução de emissões

→ 34 366 10³Nm³ de H₂ e 85 916 10³Nm³ de biometano



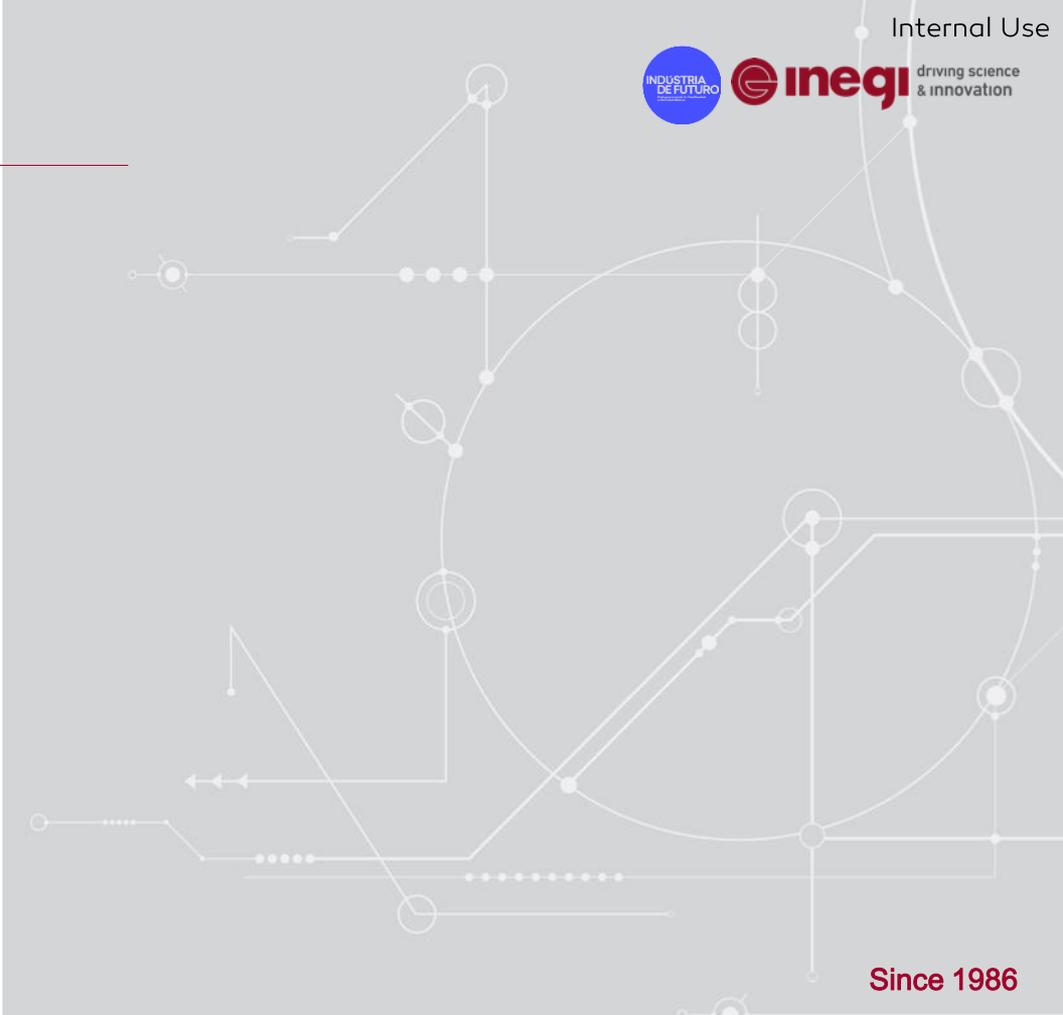
→ 27,2% do mix energético total em H₂

→ 39,6% de redução de emissões

→ 437 655 10³Nm³ H₂

5.

Debate e ideias a reter



Conclusões e Ideias a Reter

Em termos tecnológicos, a indústria pode atingir as metas de descarbonização através das seis estratégias complementares:

1. Melhoria da eficiência energética, por implementação de melhores tecnologias disponíveis nos processos industriais (com enfoque nos processos térmicos) **reduzindo desperdícios de calor e reutilização fluxos de calor residual**;
2. **Substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis de baixo carbono** (promoção de utilização de gás natural nas indústrias onde permanece o consumo de fuelóleo, nafta ou outros combustíveis mais poluentes e que têm no gás natural uma alavanca de eficiência e descarbonização), por **biocombustíveis, eletricidade renovável e/ou por incorporação de gases renováveis como vetores energéticos**;
3. **Digitalização da indústria**, incluindo ferramentas novas de gestão dos consumos energéticos, promovendo a integração multi-vetor;
4. Alinhamento da indústria com os princípios da **Economia circular**;
5. Visão da indústria como um setor ativo no **sistema energético**.
6. Utilização de **tecnologia de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS)**, quando a produção a montante ainda não é neutra em relação ao carbono.

Conclusões e Ideias a Reter

Financiamento

C14. HIDROGÉNIO E RENOVÁVEIS

PROPONER A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA POR VIA DO ACESSO ÀS ENERGIAS RENOVÁVEIS, COM GRANDE ÊNFASE NA PRODUÇÃO DE HIDROGÉNIO E OUTROS GASES DE ORIGEM RENOVÁVEL E NO CONTEXTO DAS REDES AUTÓNOMAS DE ENERGIAS DE FORTE RENOVÁVEL.

REFORMAS

- PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA 2021-2030 (PNEC 2030)
- ESTRATÉGIA NACIONAL PARA O HIDROGÉNIO (EN-H2)

INVESTIMENTOS

- Hidrogénio e gases renováveis
- Reparação/ substituição/ remodelar/ substituição de redes
- Transição energética nos Açores

371 M€

C11. DESCARBONIZAÇÃO DA INDÚSTRIA

PLANIFICAR A DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR INDUSTRIAL E IMPREVEDIVEL, PROPONER UMA PLURIFORME DE FINANCIAMENTO NA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS, CONCRETIZANDO MEDIDAS DO PNEC 2030, CONTRIBUINDO PARA ACCELERAR A TRANSIÇÃO PARA UMA ECONOMIA NEUTRA EM CARBONO.

REFORMAS

- DESCARBONIZAÇÃO DA INDÚSTRIA

INVESTIMENTOS

- DESCARBONIZAÇÃO DA INDÚSTRIA

715 M€

Agendas Mobilizadoras e Agendas Verdes para a Inovação Empresarial

Descarbonização como fator de Competitividade!!

↓
Diminuição de custos operacionais

↓
Produtos de Baixo Carbono

↓
Indústria Nacional como fornecedora de soluções tecnológicas para Descarbonização

↓
Internacionalização

Aviso

"Apoio à produção de hidrogénio renovável e outros gases renováveis"

PRR
Plano de Recuperação e Resiliência

Conclusões e Ideias a Reter

Processos e tecnologias de baixo carbono:

- Substituição de equipamentos que recorram a consumo de gás natural e/ou outros combustíveis fósseis, por equipamentos elétricos;
- Adaptação ou aquisição de equipamentos para incorporação de matérias primas alternativas ou renováveis no processo de produção visando a redução de consumos e/ou de emissões (subprodutos, reciclados, biomateriais);
- Aposta em soluções digitais através de soluções inteligentes de apoio a medição, monitorização, tratamento de dados para a gestão e otimização de processos, consumos e redução de emissões de GEE e poluentes, aumentando a eficiência de utilização de recursos (matérias-primas, água, energia) e promovendo a sua circularidade.



Conclusões e Ideias a Reter

Medidas de eficiência energética:

- Otimização de motores, turbinas, sistemas de bombagem e sistemas de ventilação (por exemplo, instalação de variadores de velocidades e substituição de equipamentos por equipamentos de elevado desempenho energético);
- Otimização de sistemas de ar comprimido (p.e. substituição do compressor de ar, redução de pressão e temperatura, variadores de velocidade);
- Substituição e/ou alteração de fornos, caldeiras e injetores; • Recuperação de calor ou frio;
- Aproveitamento de calor residual de indústrias próximas (em simbiose industrial);
- Otimização da produção de frio industrial (ex: substituição de chiller ou bomba de calor);
- Substituição de sistemas de iluminação por sistemas ou soluções energeticamente mais eficientes.



Conclusões e Ideias a Reter

Incorporação de energia de fonte renovável e armazenamento de energia

- Instalação de sistemas de produção de energia elétrica a partir de fonte de energia renovável para autoconsumo;
- Instalação de equipamentos para produção de calor e/ou frio de origem renovável (incluindo bombas de calor);
- Adaptação de equipamentos para uso de combustíveis renováveis (incluindo os provenientes de resíduos e gases renováveis como o hidrogénio verde);
- Instalação de sistemas de cogeração de elevada eficiência baseados exclusivamente em fontes de energia renovável;
- Sistemas de armazenamento de energia de origem renovável.



MAIS DE 35 ANOS
A CONVERTER
CONHECIMENTO
EM VALOR

Ricardo Barbosa

rbarbosa@inegi.up.pt

INSTITUTO DE CIÊNCIA E INOVAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA E ENGENHARIA
INDUSTRIAL

www.inegi.pt



U.PORTO