

Universidades Lusíada

Costa, Rita Moreira da

**Estudo sobre a integração de estratégias de
ecoeffiência na transição energética do setor
industrial**

<http://hdl.handle.net/11067/7958>

Metadata

Issue Date 2024

Abstract Atualmente, a possibilidade de integração de estratégias de ecoeficiência na transição energética tem vindo a ser cada vez mais reconhecida pelo setor industrial através da aplicação de medidas transversais que permitem a redução do consumo de energia e dos custos associados. Ademais, investir em medidas mais sustentáveis e ecoeficientes permite garantir a satisfação das necessidades futuras tendo em consideração necessidade de redução da dependência das fontes de energia fósseis. Existem em Por...

Currently, the possibility of integrating eco-efficiency strategies into the energy transition is increasingly recognized by the industrial sector through the application of cross-cutting measures that reduce energy consumption and associated costs. Moreover, investing in more sustainable and eco-efficient measures ensures the future needs fulfilment, while considering the necessity of reducing dependence on fossil energy sources. In Portugal, there are industries considered to be intensive ene...

Keywords Transição Energética, Novas tecnologias, Economia de energia

Type masterThesis

Peer Reviewed no

Collections [ULF-FET] Dissertações

This page was automatically generated in 2025-04-19T09:01:24Z with information provided by the Repository



UNIVERSIDADE LUSÍADA
VILA NOVA DE FAMALICÃO

**ESTUDO SOBRE A INTEGRAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE
ECOEFICIÊNCIA NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO
SETOR INDUSTRIAL**

Rita Moreira da Costa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Vila Nova de Famalicão – setembro 2024



UNIVERSIDADE LUSÍADA
VILA NOVA DE FAMALICÃO

**ESTUDO SOBRE A INTEGRAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE
ECOEFICIÊNCIA NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO
SETOR INDUSTRIAL**

Rita Moreira da Costa

Orientadores: Professora Doutora Ana Cristina Ferreira
Professor Doutor Carlos Rego Oliveira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Agradecimentos

As minhas palavras de agradecimento dirigem -se:

Aos meus orientadores, Professora Doutora Ana Cristina Ferreira e Professor Doutor Carlos Rego Oliveira, por todo o apoio, todas as sugestões e indicações e por todo o tempo despendido no desenvolvimento da dissertação.

Aos meus pais, pela sua presença em todos os momentos importantes, pela compreensão e o apoio incondicional demonstrado ao longo da minha vida pessoal e académica.

Resumo

Atualmente, a possibilidade de integração de estratégias de ecoeficiência na transição energética tem vindo a ser cada vez mais reconhecida pelo setor industrial através da aplicação de medidas transversais que permitem a redução do consumo de energia e dos custos associados. Ademais, investir em medidas mais sustentáveis e ecoeficientes permite garantir a satisfação das necessidades futuras tendo em consideração necessidade de redução da dependência das fontes de energia fósseis.

Existem em Portugal indústrias que são consideradas intensivamente consumidoras de energia. O elevado consumo de energia faz com que as indústrias tenham de procurar soluções que permitem aumentar a eficiência energética dos sistemas produtivos, de modo a promover a economia de energia e a redução de custos. Esta problemática é a motivação base para o desenvolvimento do presente estudo.

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto da integração de práticas de ecoeficiência na transição energética da indústria, através do estudo de diferentes soluções tecnicamente viáveis que permitam simultaneamente o uso racional dos recursos e a eficiência energética. O estudo é realizado através de uma revisão da literatura sobre as medidas de ecoeficiência aplicadas na indústria e que promovam simultaneamente a descarbonização da indústria e que contribuam para uma maior sustentabilidade.

A maior parte das medidas transversais podem ser aplicadas na generalidade das indústrias intensamente consumidoras de energia. Desta forma, foram identificadas como principais medidas de ecoeficiência industrial: a implementação de tecnologias e práticas que reduzem o consumo de energia em equipamentos e operações; o aproveitamento de calor residual de processos para outros fins produtivos; a instalação de sistemas de energia com recurso à incorporação de fontes renováveis como a solar, eólica ou biomassa; o aproveitamento e transformação de subprodutos industriais em matéria-prima para outros processos; a substituição de sistemas de produção de energia a diesel ou gás natural por soluções de eletrificação; a instalação de luminárias de elevada eficiência; ou a adoção de tecnologias de baixo carbono como os sistemas de captura, utilização e armazenamento de carbono em indústrias como a indústria do cimento, siderurgia ou petroquímica.

Palavras-chave: Medidas de ecoeficiência na indústria; Transição energética; Tecnologias e processos de baixo carbono; Economia de energia; Redução de custos.

Abstract

Currently, the possibility of integrating eco-efficiency strategies into the energy transition is increasingly recognized by the industrial sector through the application of cross-cutting measures that reduce energy consumption and associated costs. Moreover, investing in more sustainable and eco-efficient measures ensures the future needs fulfilment, while considering the necessity of reducing dependence on fossil energy sources.

In Portugal, there are industries considered to be intensive energy consumers. The high energy consumption drives these industries to seek solutions that enhance the energy efficiency of production systems, thereby promoting energy savings and cost reduction. This issue serves as the primary motivation for the development of this study.

The objective of this work is to assess the impact of integrating eco-efficiency practices into the energy transition in industry by analysing different technically feasible solutions that simultaneously enable the rational use of resources and energy efficiency. The study is conducted through a literature review on eco-efficiency measures applied in industry, which promote both industrial decarbonization and greater sustainability.

The majority of cross-cutting measures can be applied across most energy-intensive industries. Accordingly, the main industrial eco-efficiency measures identified are: the implementation of technologies and practices that reduce energy consumption in equipment and operations; the use of residual process heat for other productive purposes; the installation of energy systems incorporating renewable sources such as solar, wind, or biomass; the utilization and transformation of industrial by-products into raw materials for other processes; the replacement of diesel or natural gas energy production systems with electrification solutions; the installation of high-efficiency lighting systems; or the adoption of low-carbon technologies such as carbon capture, utilization, and storage systems in industries like cement, steel, or petrochemical sectors..

Keywords: Eco-efficiency measures in industry; Energy transition; Low carbon technologies and processes; Energy saving; Cost reduction.

Índice geral

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice de figuras.....	v
Índice de tabelas.....	vii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e motivação.....	1
1.1.1. Impacto do consumo da energia na indústria.....	1
1.1.2. Impacto socioeconómico do consumo da energia	6
1.2. Objetivos Propostos	10
1.3. Metodologias de Investigação Aplicadas	10
1.4. Organização do Documento.....	11
2. Evolução Energética do Setor Industrial.....	12
2.1. Análise do consumo de energia por setor	12
2.2. Intensidade energética.....	18
2.3. Enquadramento legal com vista à eficiência energética	19
2.4. Medidas de incentivo e fomento à descarbonização da indústria	24
3. Medidas de eficiência energética na indústria	26
3.1. Medidas transversais	26
3.1.1. Sistemas acionados por motores elétricos.....	28
3.1.2. Produção de calor e frio	33
3.1.3. Iluminação.....	38
3.1.4. Eficiência do processo industrial	40
3.1.5. Integração da energia renovável com base em sistemas PV	42
3.2. Exemplos de medidas aplicadas em diferentes setores industriais	47
4. Considerações finais.....	52
Referências Bibliográficas	53
Apêndice I – Análise bibliográfica das medidas de ecoeficiência na transição energética da indústria	57

Índice de figuras

Figura 1 - Consumo de energia elétrica na indústria. Adaptado de PORDATA (2023).	2
Figura 2 - Evolução de preços médios de eletricidade dos consumidores não-domésticos nos países da UE. Adaptado de EUROSTAT (2024).	3
Figura 3 - Preços médios de eletricidade (sem IVA) para o 2º semestre 2023 dos consumidores não-domésticos para UE. Adaptado de EUROSTAT (2024).	4
Figura 4 - Consumo total de energia primária em Portugal: a) em julho de 2014; b) em julho de 2024. Adaptado de REN DATA HUB (2024).	5
Figura 5 - Metas definidas por Portugal para 2030 (Delab Energy Efficiency & Green Power, 2016).	6
Figura 6 - Os três pilares da sustentabilidade (Gonçalves, 2020).	8
Figura 7 - Conceito de economia circular <i>versus</i> economia linear (Nascimento, 2023).	9
Figura 8 - Consumo final de energia no sector industrial por produto energético da UE em 2021. Adaptado (Eurostat, 2023).	13
Figura 9 - Consumo final total de energia por sector industrial da UE em 2020, adaptado (Eurostat, 2023).	15
Figura 10 - Consumo final total de energia por sector industrial da UE em 2021 (PJ), adaptado (Eurostat, 2023).	15
Figura 11 - Consumo final de energia na indústria química e petroquímica por produto energético da UE em 2021, adaptado (Eurostat, 2023).	16
Figura 12 - Consumo final de energia final na indústria de minerais não metálicos por produto energético da UE em 2021, adaptado (Eurostat, 2023).	17
Figura 13 - Consumo final de energia na indústria do papel, da pasta de papel e da impressão por produto energético da UE em 2021, adaptado (Eurostat, 2023).	18
Figura 14 - Evolução da Intensidade Energética em Portugal por setor de atividade (DGEG, 2024).	19
Figura 15 – Evolução do número de instalações registadas no SGCIE (2022).	21
Figura 16 Instalações registadas por setor registadas em 2022 no SGCIE (2022).	21
Figura 17 - Instalações registadas por distrito registadas em 2022 no SGCIE (2022).	22
Figura 18 - Modelo de sistema de gestão de energia para a ISO 50001 (MEESI, 2010)...	23
Figura 19 - Balanço energético de um motor elétrico. Adaptado MEESI (2010).	29
Figura 20 – Sistema de bombagem convencional e sistema de bombagem de alta eficiência com VEV (MEESI, 2010).	31

Figura 21 - Exemplo de um sistema de compressão de ar, (METRON, 2024).....	32
Figura 22 - Esquema de uma tecnologia básica de cogeração: turbina a gás (Voltimum, 2016).....	34
Figura 23 - Rendimento de uma unidade convencional de geração de energia elétrica (MEESI, 2010).	34
Figura 24 - Rendimento de uma unidade de cogeração de geração de energia elétrica (MEESI, 2010).	35
Figura 25 - Exemplo de uma bomba de calor (Potencializee, 2023).....	37
Figura 26 - Esquema de ciclo de refrigeração por compressão de vapor (MEESI, 2010) .	38
Figura 27 - Comparação do desempenho de diferentes tipos de lâmpadas na produção de 1600 <i>lumens</i> (MEESI, 2010)	39
Figura 28 - Descrição geral da instalação do sistema fotovoltaico.	43
Figura 29 - Esquema do funcionamento dos painéis fotovoltaicos (Centrais elétricas, s.d.)	44

Índice de tabelas

Tabela 1 - Evolução do consumo final de energia na industrial por produto energético da UE, adaptado (Eurostat, 2023)	14
Tabela 2 – Medidas transversais que podem contribuir para eficiência energética na indústria. Adaptado de Soares (2015)	27
Tabela 3 - Tecnologias fotovoltaicas mais comuns, adaptado (Sá, 2016).....	45
Tabela 4 – Diferentes medidas para obter a eficiência energética para cada setor. Adaptado (Gerres, 2018).....	50
Tabela 5 – Tabela de bibliografia anotada das medidas de ecoeficiência na transição energética da indústria	57

Lista de abreviaturas

CCS – *Carbon Capture and Storage*

DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

IVA – Imposto sobre o valor acrescentado

LED - *Light Emitting Diode*

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

PIB – Produto Interno Bruto

PNAC – Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2030

PRR – Plano de Recuperação e Resiliência

PV – Painéis Fotovoltaicos

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

UE – União Europeia

UPAC – Unidade de Produção para Autoconsumo

VEV – Variador eletrónico de velocidade

WASP – *Wind-assisted ship propulsion*

1. Introdução

A presente dissertação foi elaborada no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade Lusíada, *Campus* de Vila de Famalicão. A dissertação foca-se no estudo da eficiência energética no setor industrial. Tal como em outros setores, a implementação de medidas de eficiência energética tem sido avaliada para mitigar os custos associados ao elevado consumo energético. Estas medidas podem, em alguns casos, implicar a substituição de equipamentos ou a adaptação de novos equipamentos a sistemas já existentes, com o objetivo de aumentar a eficiência energética nos processos industriais. Neste capítulo é realizado uma contextualização sobre a importância de selecionar e implementar medidas de eficiência energética na indústria. São também apresentados os objetivos propostos e é caracterizada a metodologia de investigação aplicada.

1.1. Enquadramento e motivação

Nas últimas décadas foi possível observar o aumento do consumo energético nos setores dos transportes, serviços e indústria, o que implicou uma maior dependência dos combustíveis e maiores despesas (Rajabloo et al., 2022). A energia é um recurso muito importante para a produção de valor na indústria e no comércio, uma vez que é a base para o funcionamento de praticamente todas as atividades produtivas, seja por meio da eletricidade, combustíveis fósseis, energias renováveis ou outros tipos de fontes energéticas. Nesta secção é apresentada a principal motivação para este estudo: por um lado, o impacto da evolução do consumo de energia no setor de atividade industrial; por outro lado, o impacto desse consumo do ponto de vista socioeconómico e da sustentabilidade.

1.1.1. Impacto do consumo da energia na indústria

Em várias indústrias os consumos de energia correspondem a uma parcela representativa dos custos operacionais, sendo necessário garantir a minimização desses custos. Isto significa supervisionar a energia como qualquer outro indicador de produção. De acordo com Pessoa (1994), o setor energético *“representa um papel fundamental em todas as atividades nomeadamente nas atividades industriais. A ideia de que o desenvolvimento socioeconómico só podia ser obtido à custa de um grande crescimento do consumo de energia já foi abandonada, tendo-se aprendido a olhar energia como um fator de produção que se for bem gerido permite produzir o mesmo consumindo menos”* (p.12).

A indústria pode ser dividida em duas principais categorias: as indústrias extrativas e as transformadoras, em que a primeira consiste na atividade da extração de recursos naturais, como por exemplo petróleo, gás natural, carvão e outros minerais. A indústria transformadora consiste em utilizar e transformar a matéria-prima num produto final, como por exemplo as atividades da tecelagem têxtil, os lacticínios, a fabricação de artigos de borracha, entre outras. Tanto a indústria extrativa como a indústria transformadora recorrem ao uso de equipamentos e maquinarias adequadas para cada tipo de atividade que consomem energia. A indústria transformadora tem um considerável impacto ambiental negativo, devido a efluentes líquidos e gasosos, aos resíduos sólidos gerados na produção e no elevado consumo energético, sendo que é necessário motorizar estas emissões pela substituição de tecnologias de produção de energia limpa ou não poluente, como o uso de equipamento de despoluição e de medidas preventivas. A Figura 1 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica na indústria em Portugal entre 1993 e 2023. Na indústria extrativa, o consumo de energia elétrica não apresenta grandes oscilações neste período de 30 anos. Por outro lado, na indústria transformadora verifica-se uma tendência de aumento do consumo, com exceção do período da crise económica mundial verificada entre 2008 e 2010.

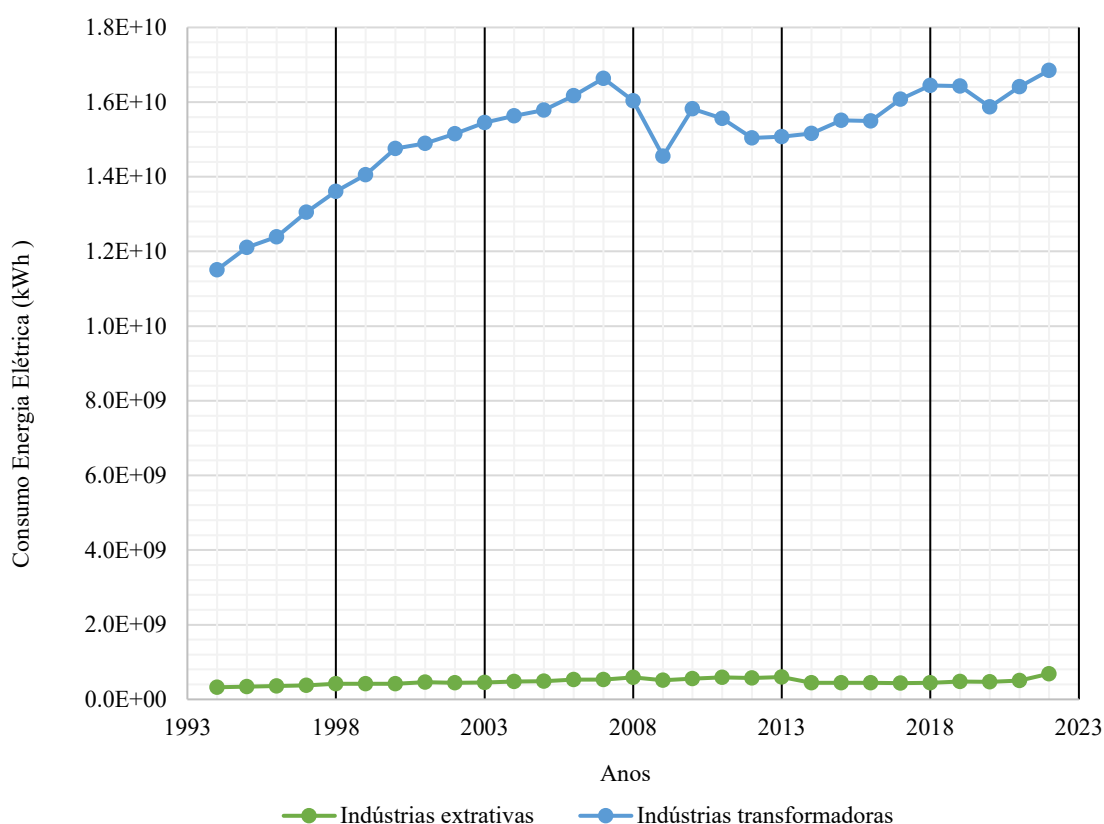


Figura 1 - Consumo de energia elétrica na indústria. Adaptado de PORDATA (2023).

Nas empresas da indústria transformadora, estes consumos energéticos representam uma parcela muito importante dos custos operacionais, sendo um dos principais objetivos implementar estratégias de ecoeficiência para minimizar estes custos.

O aumento do preço da energia é uma das consequências da instabilidade do abastecimento do gás natural para a Europa, sendo este usado como combustível para a indústrias, para o aquecimento das casas e para a produção de eletricidade. Na Figura 2, é possível observar que entre 2019 entre 2021 houve pequenas oscilações no preço médio da eletricidade nos países europeus. A partir de 2022, verifica-se um aumento acentuado no preço médio da eletricidade, o qual coincide com o início da guerra entre a Ucrânia e a Rússia, sendo que estes dois países são fornecedores de gás natural para alguns países europeus. Esta situação originou que os países que eram abastecidos pela Rússia tivessem de procurar alternativas de abastecimento de gás natural noutros países devido a questões políticas. Deste modo, a elevada procura no mercado por alternativas de abastecimento originou o aumento do preço do gás natural. Além disto, a partir do segundo semestre de 2022 verificou-se em Portugal uma descida no preço médio de eletricidade dos consumidores não-domésticos face ao semestre homólogo. A União Europeia (UE) e a Espanha também apresentam uma redução do preço de eletricidade face ao semestre homólogo.

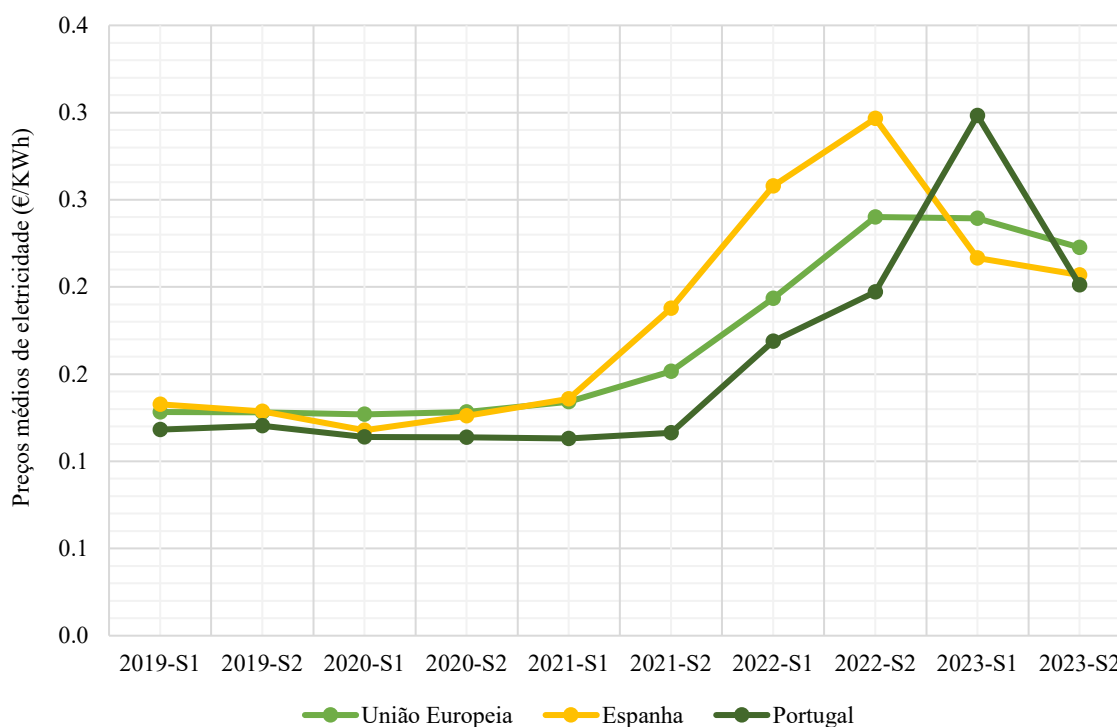


Figura 2 - Evolução de preços médios de eletricidade dos consumidores não-domésticos nos países da UE.

Adaptado de EUROSTAT (2024).

Já na Figura 3 é possível verificar que em Portugal o preço médio da eletricidade (sem impostos), no 2º semestre de 2023, praticado pelos consumidores não-domésticos é mais baixo do que a média da UE, sendo só ultrapassado pela Roménia que consegue ter um preço ainda mais baixo, ao contrário da Irlanda que tem o preço mais elevado. Deste modo, a aplicação de uma gestão energética eficiente é muito importante porque permite analisar e monitorizar os consumos energéticos, sendo possível verificar onde existe oportunidade de melhoria e criar soluções corretivas para produzir os consumos.

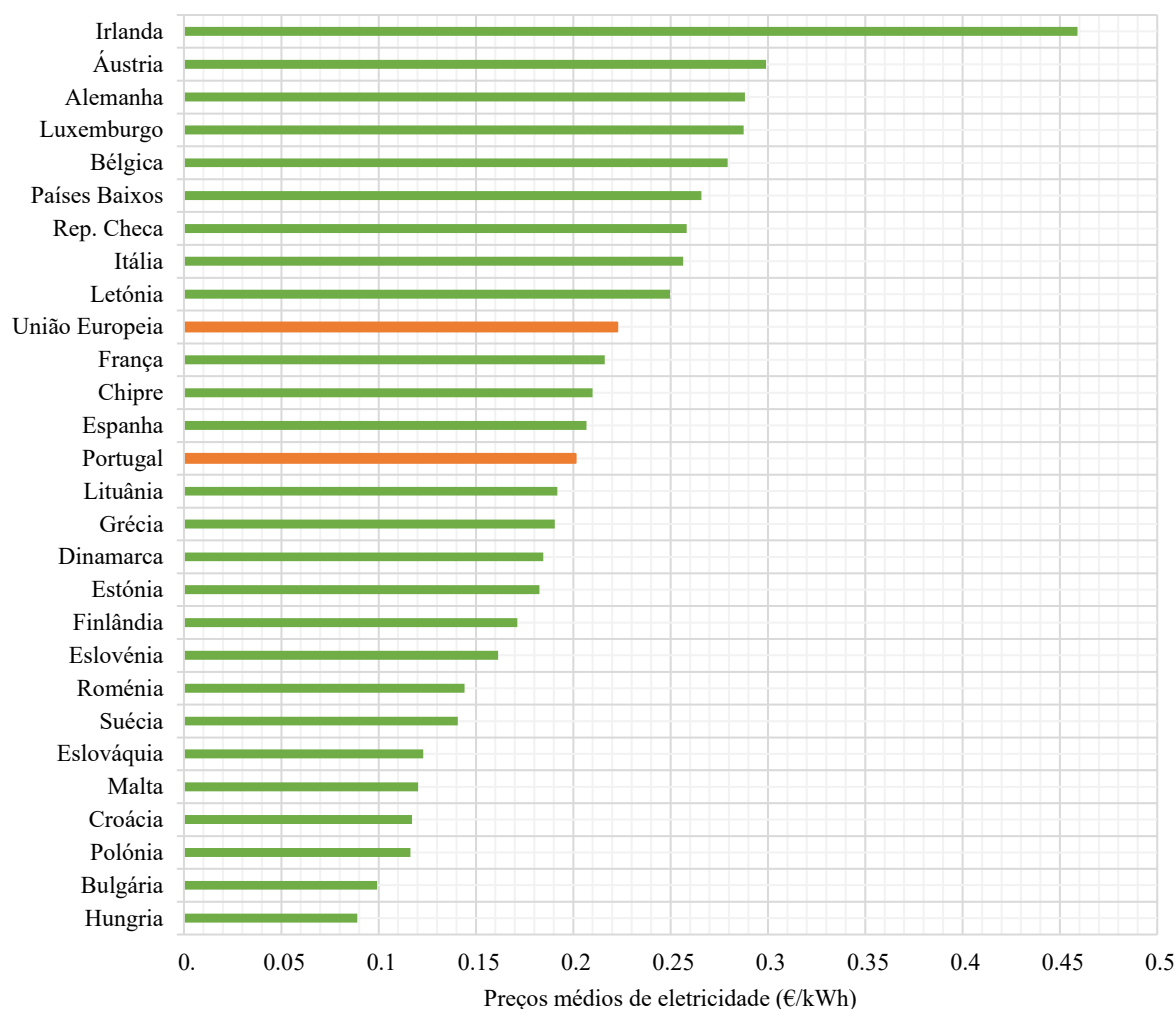


Figura 3 - Preços médios de eletricidade (sem IVA) para o 2º semestre 2023 dos consumidores não-domésticos para UE. Adaptado de EUROSTAT (2024).

Atualmente, existe a necessidade de reduzir o consumo de energia primária, sobretudo a de origem fóssil, procurar por soluções mais eficientes e fomentar o uso racional da energia útil. Uma vez que Portugal não explora nem produz carvão, petróleo bruto ou gás natural, isto origina uma dependência energética mais elevada em relação a outros países.

É fundamental criar uma maior autonomia energética usando como recurso as energias renováveis para substituir a produção de eletricidade, que utilizam o carvão e o gás natural. A utilização de energia proveniente de energia não renováveis torna os países mais dependentes e origina problemas muito graves no ambiente a nível mundial. Na Figura 4, é possível observar que num decorrer de 10 anos, o consumo de energia primária com base em recursos renováveis (como a hídrica, a solar, a eólica e a biomassa) para produção de eletricidade final aumentou 33%, enquanto o consumo de energia primária com base no carvão, no gás natural e as outras fontes térmicas (como o petróleo e outros resíduos) diminuiu de forma mais acentuada. Além disto, verifica-se que a produção por bombagem aumentou 18%, sendo que isto é possível através do uso das bombas hidroelétricas em barragens devidamente equipadas, que bombeiam a água de reservatório inferior para um superior.

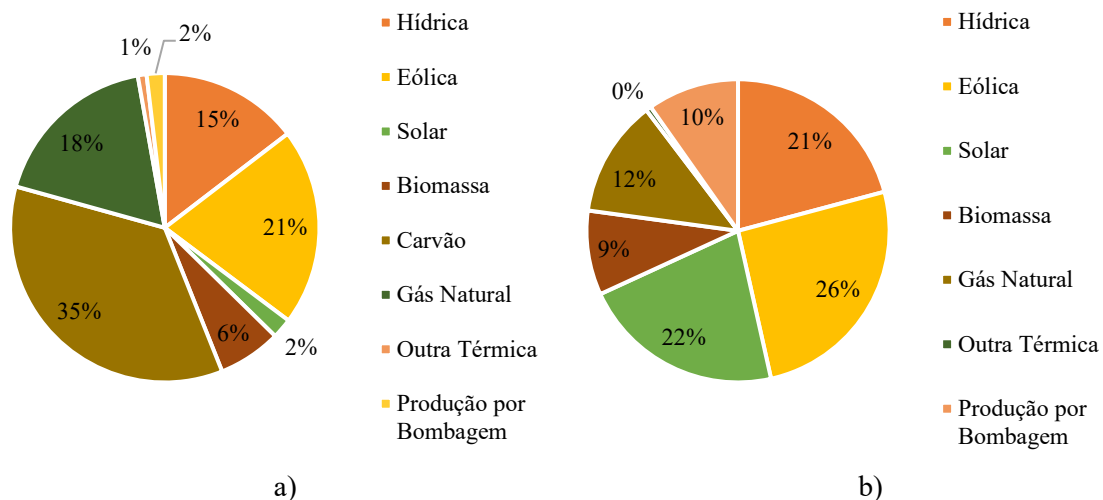


Figura 4 - Consumo total de energia primária em Portugal: a) em julho de 2014; b) em julho de 2024.

Adaptado de REN DATA HUB (2024).

Ao longo do tempo, verificou-se que é importante avaliar o impacto da integração de práticas de ecoeficiência na transição energética da indústria, através do estudo de diferentes soluções tecnicamente viáveis que permitam, simultaneamente, a redução de custos, o uso racional dos recursos e a eficiência energética. Além disto, existem vários tipos de apoios fornecidos pelas entidades governamentais no sentido de cumprir as metas ambientais para 2030, como menciona Fernandes (2019): “*A economia tem de crescer nos limites do próprio planeta. A Natureza nunca se enganou. Os sistemas naturais não têm nada a mais. Por isso, temos de evoluir para um modelo económico e social fundado na racionalidade da suficiência*”.

Em 2015 os países da UE tiveram de chegar a uma concordância, que é conhecida como o “Acordo de Paris”. Neste diploma são definidos objetivos a serem atingidos para mitigar os efeitos do aquecimento global. Deste modo, Portugal definiu objetivos para o horizonte 2030, tendo em consideração as metas definidas pela UE, como apresentado na Figura 5. Em termos práticos, estas metas têm como alvo incentivar especialmente as indústrias a reduzirem as emissões de carbono e tornarem-se mais sustentáveis. Para isso, as indústrias devem investir em:

- Processos e tecnologias com baixas emissões de carbono que têm como finalidade rever todos os seus processos produtivos, matérias-primas e até composição dos produtos, entendendo onde necessitam interferir, por exemplo, seja pela via de substituir equipamentos abastecidos por fontes não renováveis por renováveis;
- Aplicação de medidas de eficiência energética, as quais têm como foco apostar em soluções e equipamentos que produzam mais, consumam menos, que otimizem os custos de energia, mas também que promovam soluções ao nível da redução de desperdícios, resíduos e ineficiências;
- Incorporação de energia de fonte renovável e armazenamento, visando o investimento em fontes de energias renováveis para abastecer as unidades industriais. Tal pode acontecer por via da inclusão de sistemas fotovoltaicos (PV) para autoconsumo, a incorporação de hidrogénio e de outros gases renováveis.

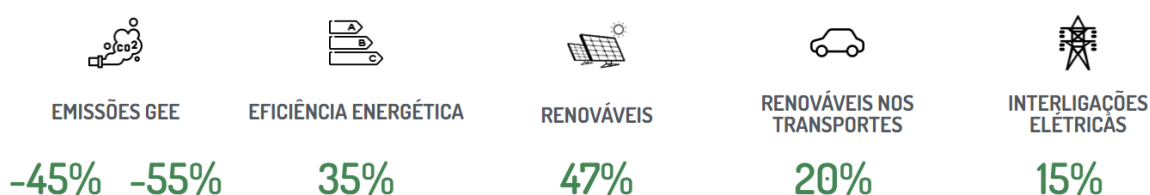


Figura 5 - Metas definidas por Portugal para 2030 (Delab | Energy Efficiency & Green Power, 2016).

1.1.2. Impacto socioeconómico do consumo da energia

A indústria é um dos setores que mais absorve recursos naturais não renováveis, os quais necessitam de muito tempo para se renovar. As atividades resultantes da utilização de energias não renováveis acabam por ter consequências como a emissão de gases com efeito de estufa e de poluentes atmosféricos.

Além disso, a extração dos recursos e o seu uso intensivo geram uma elevada quantidade de resíduos que podem ser de difícil tratamento. Todos estes aspetos contribuem para as alterações climáticas, que danificam ecossistemas naturais e o ambiente antropogénico, assim como a saúde humana (Teske et al., 2021).

Nos últimos anos, a sociedade tem vindo a tomar consciência dos problemas ambientais. Estas preocupações acabam por ter impacto na indústria e nas cadeias de abastecimento. Uma vez que o consumidor final está cada vez mais a optar por produtos sustentáveis, é necessária uma adaptação dos sistemas produtivos a estratégias mais sustentáveis e ecoeficientes.

Desta forma, a sustentabilidade energética consiste em contribuir com medidas para criar um equilíbrio entre os três principais pilares social, económico e ambiental. Assim sendo, quando existe um equilíbrio entre estes parâmetros, verifica-se a possibilidade de mitigar os efeitos das alterações climáticas, que consequentemente afetam todos os ecossistemas do planeta. Deste modo, a relação entre a economia e a sociedade consiste em criar medidas que permitam adquirir energia proveniente de fontes energéticas renováveis, limpas e seguras (NECP, 2020).

Por outro lado, deve-se ter em conta que para gerar esta energia tem de haver um investimento por parte dos países em novas formas de se obter energia renovável, para que seja possível cumprir a procura atual e futura. E por último, para que todas estas relações sejam possíveis, deve sobretudo existir um compromisso com a sociedade para moderar especialmente a utilização de recursos não renováveis, minimizando o impacto ambiental.

Observando a Figura 6, estes três eixos interseitam-se e os pontos sobrepostos representam a meta sustentável que pressupõe um crescimento económico, um equilíbrio ambiental e um progresso social. Deste modo, segue uma breve explicação de cada pilar:

- Dimensão ambiental – consiste em valorizar os recursos naturais a curto, médio e a longo prazo. Deste modo, será necessário minimizar as degenerações ambientais que podem ser causadas pela produção industrial, evitar desperdícios do dia-a-dia, a utilização de recursos naturais renováveis, a reciclagem, o reaproveitamento de resíduos e o consumo de água de forma responsável (Purvis, 2019);
- Dimensão social – abrange os direitos humanos e a igualdade de oportunidades de todos os indivíduos numa sociedade. Isto significa que permite criar um ambiente saudável ao nível das relações entre indivíduos de forma a beneficiar o desenvolvimento pessoal e coletivo (Purvis, 2019);

- Dimensão económica – concentra-se na gestão responsável dos recursos financeiros, tendo em consideração que deve-se procurar obter lucros mais sustentáveis, originando uma criação de valor económico que pensa já nas gerações futuras (Purvis, 2019).

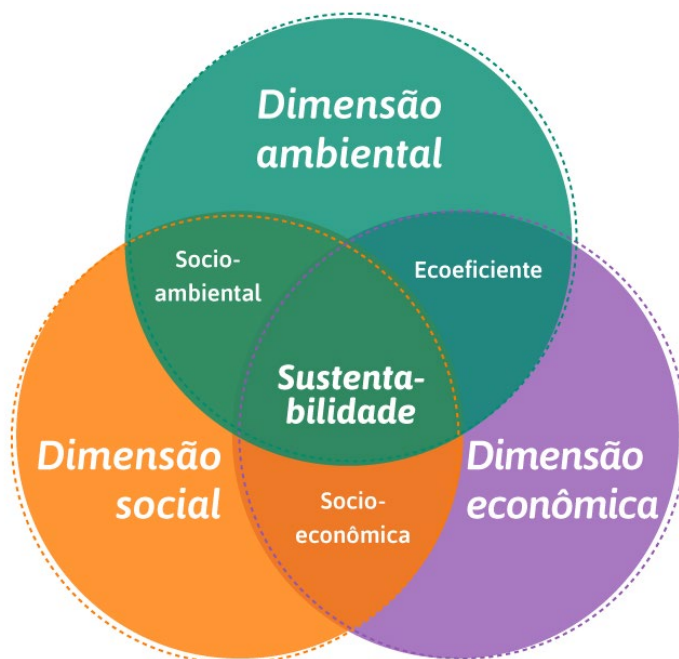


Figura 6 - Os três pilares da sustentabilidade (Gonçalves, 2020).

As indústrias devem aplicar de forma estratégica o conceito de sustentabilidade. A aplicação do conceito de sustentabilidade na indústria é muito importante, pois permite gerir as atividades de negócio com o objetivo de criar valor ou melhor desempenho a longo prazo (Claro, 2014). O desenvolvimento sustentável tem como preocupação satisfazer as necessidades das gerações atuais, mas sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Isto significa que este conceito se baseia na utilização moderada dos recursos sobretudo dos não renováveis. Deste modo, para que as gerações futuras tenham as mesmas condições, é necessário criar medidas de forma a contribuir para a sustentabilidade energética, no sentido de melhorar as condições ambientais.

Este compromisso com a sustentabilidade está também relacionado com integração da circularidade na economia. A economia circular está relacionada com a reutilização e recuperação de materiais e energia. Este modelo económico consiste em reduzir o desperdício de recursos e os resíduos na indústria. Quando o produto chega ao fim do seu ciclo de vida, os materiais continuam dentro da economia com a finalidade de serem reutilizados o maior número de vezes possíveis (Resnitzky, 2021).

A utilização dos princípios da economia circular permite obter os seguintes benefícios:

- Redução de custos;
- Maior controlo das emissões poluentes;
- Promove a inovação e melhora processos;
- Implementação de processos de reciclagem;
- Possibilita uma melhoria ao nível do bem-estar e clima organizacional;
- Valorização das organizações;
- Produtos mais acessíveis (menor custo) e com um ciclo de vida longo.

O modelo económico que predomina mais nas indústrias é o conceito de economia linear, o qual consiste em extrair a matéria-prima, produzir e descartar os resíduos. Uma vez que a capacidade do planeta não chega para repor as matérias-primas não renováveis, isto provoca uma incerteza e insegurança em relação ao futuro das próximas gerações, que não terão a oportunidade de usufruir destes recursos (Costa, 2021).

Atualmente, as questões ambientais estão na ordem do dia e as indústrias enfrentam novos desafios como a substituição de processos “mais amigos do ambiente” tanto em termos de fornecimento de energia como em termos de gestão dos sistemas de produção.

A indústrias tem assim de repensar sobre esta questão e tomar medidas para se tornarem mais competitivas no mercado. Assim sendo, a indústria pode adotar o conceito de economia circular para não ter uma dependência de recursos naturais que se podem tornar num futuro de escassez, originando que não sejam competitivas no mercado, como é possível observar na Figura 7.

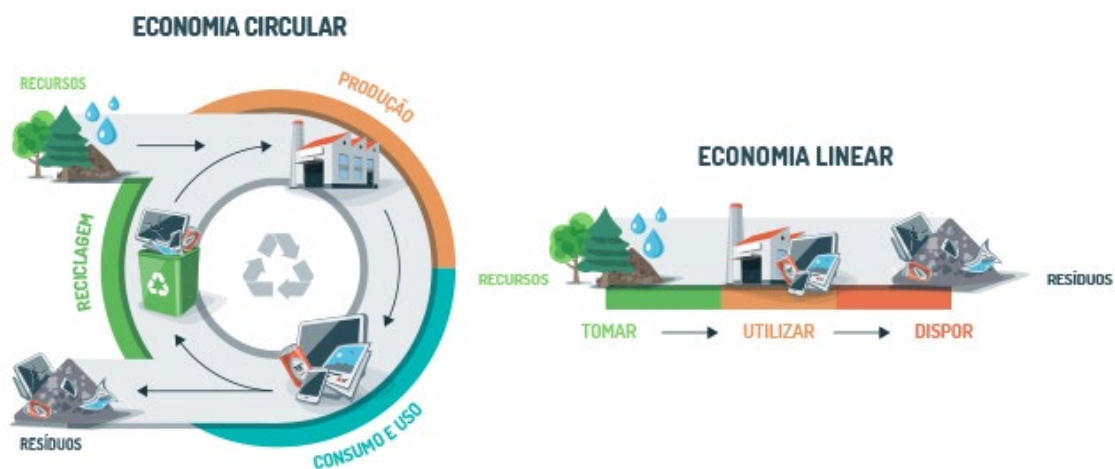


Figura 7 - Conceito de economia circular *versus* economia linear (Nascimento, 2023).

A título exemplificativo, a indústria de vidro, por um lado, é um setor de atividade com elevados custos de produção e, por outro, é uma indústria que gera gases com efeito de estufa. As empresas deste setor recorrem ao fornecimento de energia da rede elétrica e combustíveis fósseis. Neste setor, existem diferentes hipóteses alternativas com vista à adoção de estratégias de ecoeficiência, tais como a utilização da fonte de energia solar em vez da rede elétrica, a utilização de resíduos de vidro reciclado ou ambas as estratégias. A combinação de diferentes estratégias permite assim melhorar os potenciais ganhos (Nikolakis, 2024).

1.2. Objetivos Propostos

Os principais objetivos da presente dissertação envolvem a avaliação do impacto da integração de práticas de ecoeficiência na transição energética da indústria, através do estudo de diferentes soluções tecnicamente viáveis que permitam simultaneamente a redução e o uso racional dos recursos e a eficiência energética. Como objetivos específicos, definem-se:

- Efetuar uma análise da evolução energética a nível Europeu e em Portugal, considerando o consumo de energia final por setor de atividade e a intensidade energética da economia;
- Efetuar um levantamento através de uma revisão de literatura das práticas de ecoeficiência aplicadas na indústria que promovem simultaneamente a descarbonização da indústria e que contribuem para uma maior sustentabilidade;
- Identificar as melhores combinações tecnológicas que possam ser adotadas em diferentes setores de atividade.

1.3. Metodologias de Investigação Aplicadas

A metodologia utilizada nesta dissertação engloba uma revisão de literatura. Uma revisão de literatura caracteriza-se por ser uma abordagem mais flexível e menos estruturada para sintetizar e analisar informações disponíveis numa área de investigação. As fontes são escolhidas com base na relevância percebida pela análise preliminar dos documentos, não sendo obrigatória a definição de critérios de inclusão e/ou de exclusão explícitos. Em suma, a revisão da literatura foca na descrição e interpretação do conteúdo dos estudos, sem realizar sínteses quantitativas (Saunders et al., 2019).

No que se refere à pesquisa bibliográfica, esta foi realizada através de diversas fontes (*Scopus*, *Web of Science*, *Google Scholar*), com base na seleção de artigos científicos e técnicos, livros, jornais e revistas. Desta forma, a revisão bibliográfica focou-se mais especificamente na análise de documentos científicos que focam a identificação de medidas de ecoeficiência no setor industrial. Além disto, foram também recolhidos dados em relatórios ou plataformas de diversas entidades como a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) ou a PORDATA.

1.4. Organização do Documento

A presente dissertação encontra-se organizada em quatro capítulos. O primeiro capítulo corresponde ao enquadramento do projeto, aos objetivos e metodologia de investigação que é utilizada neste projeto. O segundo capítulo é dedicado a evolução energética do setor industrial. Neste âmbito referir-se-á o consumo de energia por setor, a intensidade energética em Portugal e ainda é realizada uma contextualização legal sobre este assunto. Além disto, é contextualizada o que são indústrias intensamente consumidoras de energia e as suas respetivas obrigações. O terceiro capítulo diz respeito a eficiência energética na indústria. Neste capítulo é dada maior ênfase às medidas transversais que promovem maior eficiência energética na indústria em geral e a apresentação de diversos artigos que investigam alternativas para diminuir o consumo energético no setor industrial. Por último, o quarto capítulo apresenta as conclusões e outras considerações finais.

2. Evolução Energética do Setor Industrial

No presente capítulo será explorada a evolução energética do setor industrial. Devido à instabilidade dos preços dos combustíveis e a pressão da competitividade do mercado, este custo industrial não pode nem deve ser ignorado. Primeiramente, será analisado a evolução do consumo energético por setor industrial, tendo em consideração a tipologia de energia primária e final usada. Seguidamente é definido o que consiste a intensidade energética em Portugal é realizado um enquadramento legal tendo como base a Diretiva 2012/27/UE e o Plano Nacional de Energia e Clima (PNAC). É ainda abordado o tipo de apoios existentes para o incentivo da ecoeficiência nas indústrias.

2.1. Análise do consumo de energia por setor

Atualmente, as empresas industriais procuram realizar uma gestão de energia mais eficiente com a finalidade de identificar possíveis oportunidades de poupança. Os consumos energéticos estão diretamente relacionados com os custos operacionais. Deste modo, é crucial implementar estratégias ou medidas para evitar a dependência destes recursos, que maioritariamente são combustíveis fósseis e ainda falta de acesso a recursos energéticos mais acessível origina uma ameaça à sua competitividade (Pessoa, 1994).

O elevado preço de recursos energéticos, sejam renováveis ou não renováveis, e a pressão da competitividade que as empresas industriais atualmente enfrentam, implicam um maior controlo dos mesmos como qualquer outro ponto crítico de produção. Deste modo, é possível verificar que os próprios clientes exigem cada vez mais que as empresas que subcontratam tenham a consciencialização sobre a temática do desenvolvimento sustentável uma vez que o consumidor final já exige este tipo de preocupações devido ao acesso fácil da informação sobre os problemas ambientais/económicos. Assim sendo, as indústrias optam por aplicar o conceito de eficiência energética que consiste em reduzir o consumo de energia, sem colocar em causa a prestação do serviço ou a produtividade. Está essencialmente associado ao uso racional de energia. Segundo Ferreira (2013), *“o Consumo Total da Energia Primária (CTEP) não deverá ser utilizado para avaliar efeitos da eficiência energética, dado que esta está afeta às utilizações finais, por definição. As referências à redução da intensidade energética primária têm a ver, fundamentalmente, com o mix de origem e a redução é obtida pela via dos fatores de conversão utilizados no balanço energético nacional”* (p.42).

A energia primária consiste em toda a fonte de energia que ainda não teve qualquer tipo de transformação, normalmente este tipo de energia é utilizada como matéria-prima. As fontes de energia primária podem ser subdivididas em energias não renováveis e renováveis, em que as diferencia é que a primeira não é possível substituir devido ao seu elevado período e reposição. As mais utilizadas são petróleo, gás natural, carvão mineral, biomassa, solar, eólica, hídrica, geotérmica, nuclear e química.

Existem múltiplos processo de conversão de energia primária em energia final. O processo de transformação tem como finalidade a obtenção de uma forma de energia útil. No entanto, estes processos estão associados a perdes no processo de conversão.

Atualmente, existem diversos setores industriais que utilizam o gás natural como um recurso energético, devido ao facto de ser mais vantajoso ao nível do rendimento e na manutenção dos equipamentos. As indústrias que mais utilizam esta solução são do setor da cerâmica, do vidro, química, têxtil, alimentar, metalomecânica, siderurgia, farmacêutica, papelreira, entre outras. As suas principais aplicações são em caldeiras, fornos, secadores, aquecimento radiante e cogeração.

A Figura 8 apresenta o consumo final de energia por produto energético no setor industrial, com base nos dados da média da União Europeia (UE) em 2021. É possível observar na Figura 8 que o produto energético final mais consumido é a eletricidade, sendo que o diferencial para o gás natural é de 0,5%.

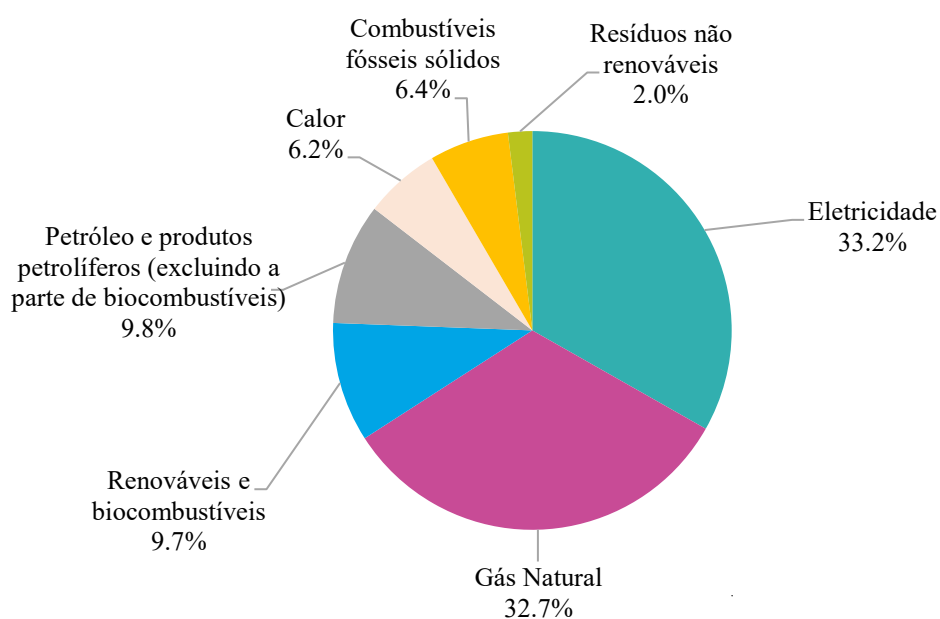


Figura 8 - Consumo final de energia no sector industrial por produto energético da UE em 2021. Adaptado (Eurostat, 2023).

Atendendo à evolução do consumo final de energia por produto energético apresentada na Tabela 1, é possível verificar que, em 2021, o consumo total diminuiu em 23% em relação a 1990 (representado como DIF que consiste na diferença entre 2021 e 1990). Esta redução mais acentuada coincide com a crise na economia portuguesa entre 2008 e 2013, em que houve um abrandamento devido a incerteza que existia no setor financeiro. Durante períodos de crises, a economia acaba por fazer uma seleção natural que consiste em fechar as unidades menos produtivas a um ritmo mais acelerado, dando oportunidade de expansão das empresas mais produtivas e aumentar a produtividade média (Martins, 2016). Além disto, verifica-se o efeito da promoção de medidas de eficiência energética proporcionadas pelo Governo tanto para o setor industrial como para o doméstico, de forma a cumprir as metas definidas no Acordo de Paris.

Deste modo, o consumo de petróleo e os seus derivados tem vindo a diminuir gradualmente, sendo sucedido, nomeadamente pelo consumo de gás natural, que não pode ser considerada uma alternativa definitiva. Este recurso não polui tanto como os restantes combustíveis fósseis e ainda possui um bom rendimento térmico, sendo mais fácil investir em equipamentos que utilizem este recurso. Além disto, o consumo de eletricidade tem como tendência aumentar, pois praticamente todas as tecnologias dependem dela, como por exemplo a iluminação e os equipamentos. Também é possível observar que as energias renováveis e os biocombustíveis e os resíduos não renováveis foram os que tiveram um maior crescimento no consumo final.

Tabela 1 - Evolução do consumo final de energia na industrial por produto energético da UE, adaptado (Eurostat, 2023)

		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2021	DIF
Consumo final de energia por produto energético (PJ)	Eletricidade	3 645	3 349	3 665	3 758	3 225	3 043	3 290	-10%
	Gás Natural	3 214	3 097	3 404	3 653	3 332	3 290	3 342	4%
	Renováveis e biocombustíveis	546	590	650	738	819	871	976	79%
	Petróleo e produtos petrolíferos (excluindo a parte de biocombustíveis)	2 288	2 051	1 892	1 685	1 294	1 030	991	-57%
	Calor	843	530	418	632	659	637	620	-27%
	Combustíveis fósseis sólidos	2 420	1 699	1 285	1 006	777	758	647	-73%
	Resíduos não renováveis	34	57	32	47	105	148	198	489%
	Total	12 990	11 372	11 345	11 519	10 211	9 777	10 064	-23%

O setor industrial é um dos setores que mais consome energia, devido aos processos industriais, operacionais e de produção. De acordo com os dados apresentados na Figura 9 e na Figura 10, o consumo final total de energia na indústria aumentou ligeiramente de 2020 para 2021. Além disto, é possível verificar que o setor industrial químico e petroquímico é quem mais gasta energia, seguido pelo setor industrial dos minerais não metálicos e depois pelo setor industrial do papel, pasta e impressão. Por outro lado, todos os setores industriais à exceção de têxteis e couro, sofrem um subtil aumento no consumo final total de energia.

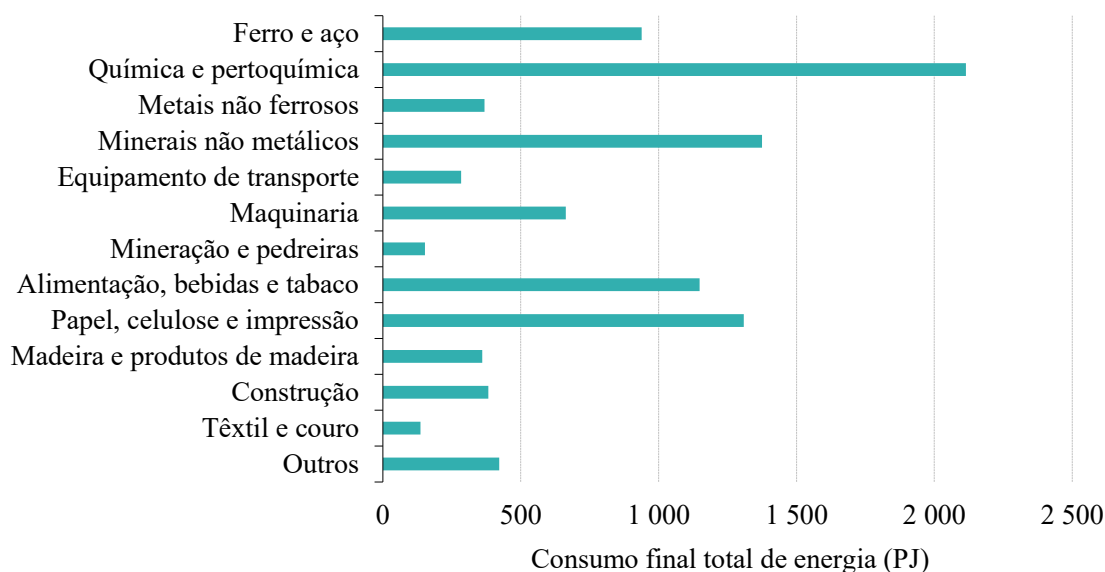


Figura 9 - Consumo final total de energia por sector industrial da UE em 2020, adaptado (Eurostat, 2023).

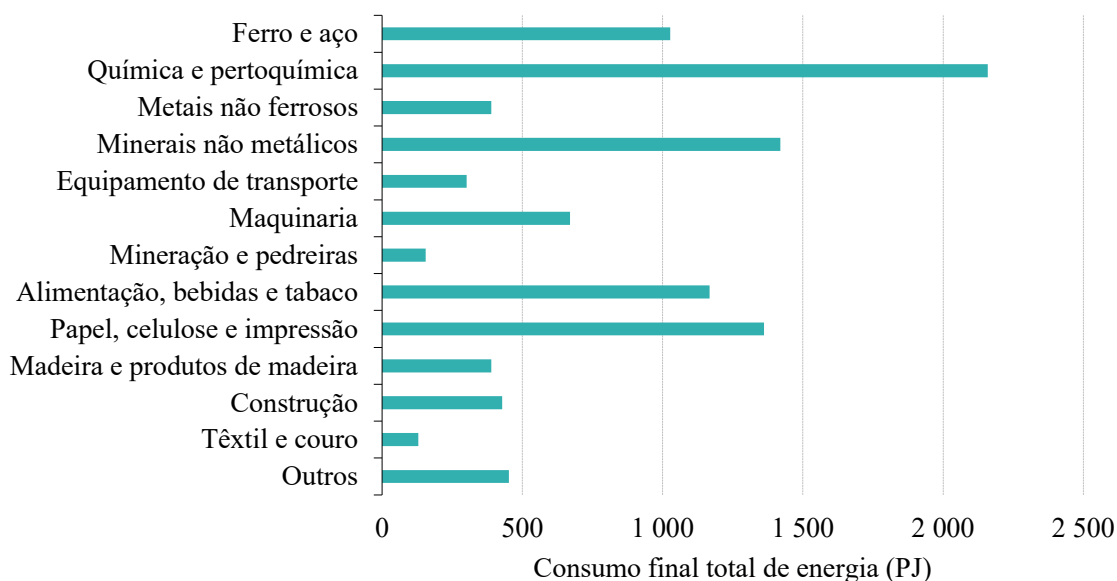


Figura 10 - Consumo final total de energia por sector industrial da UE em 2021 (PJ), adaptado (Eurostat, 2023).

No seguimento, da identificação das três de indústrias que mais consomem energia final, é analisado mais pormenorizadamente o custo por produto energético de cada subsetor. Uma vez que as indústrias podem variar o produto energético que mais utilizam de acordo com as suas necessidades produtivas, por exemplo iluminação e equipamentos, é tido em consideração o preço do produto energético. As empresas para investirem em novas soluções necessitam de ter em consideração este último fator que é volátil e que em alguns casos só têm retorno ao fim de alguns anos.

Como se pode verificar pela Figura 11, na indústria química, que tem como subsectores a petroquímica e a farmacêutica, o gás natural é o recurso mais consumido seguido pela eletricidade, sendo que os dois recursos juntos representam mais de 50% do consumo em ambas as indústrias.

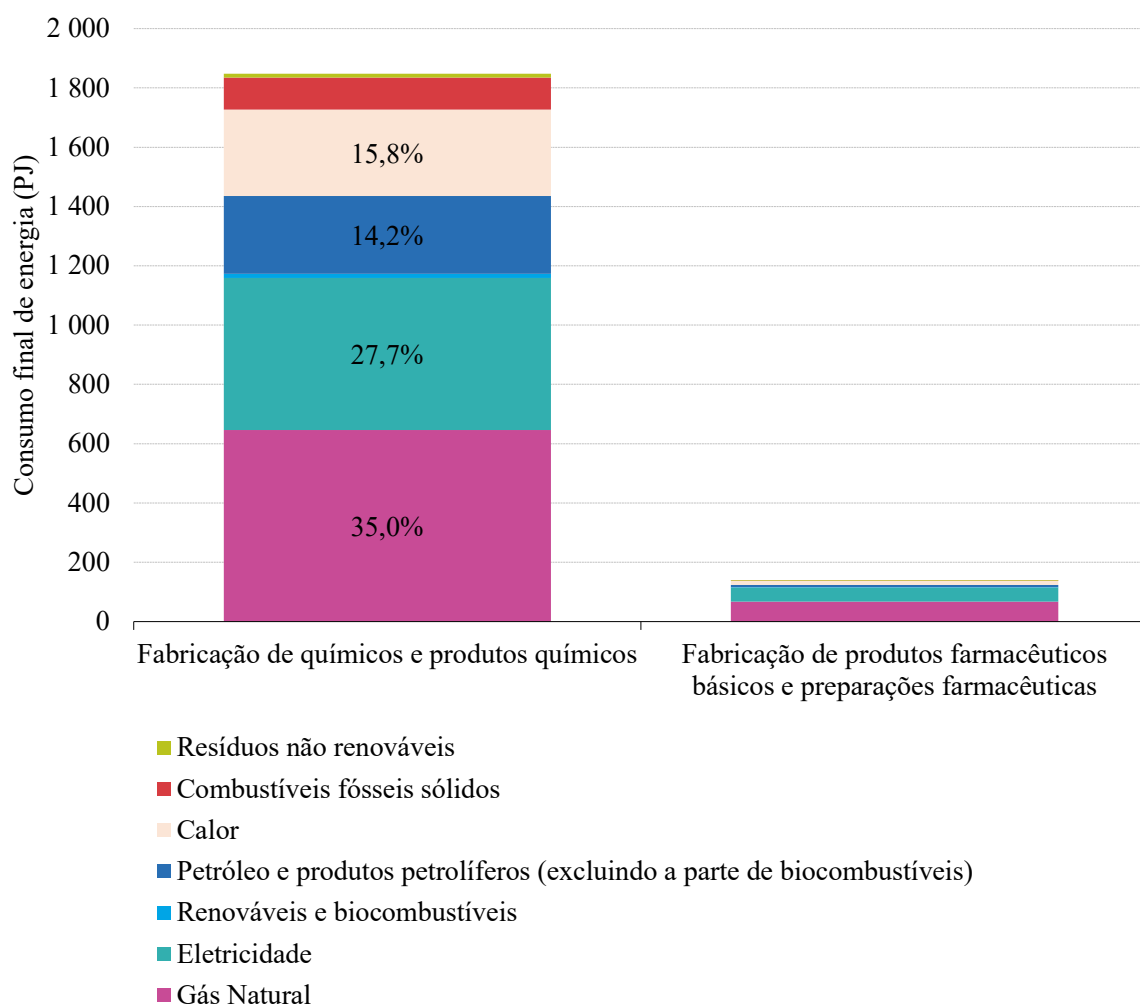


Figura 11 - Consumo final de energia na indústria química e petroquímica por produto energético da UE em 2021, adaptado (Eurostat, 2023).

A Figura 12 apresenta os consumos energéticos para a indústria de minerais não metálicos, subdivididos em cimento, cal e gesso, vidro e produtos de vidro e outros produtos. Este tipo de indústria gasta mais gás natural e eletricidade, sendo que apenas a produção de cal, gesso e cimento é que utiliza mais os resíduos não renováveis, seguido dos combustíveis fósseis no estado sólido.

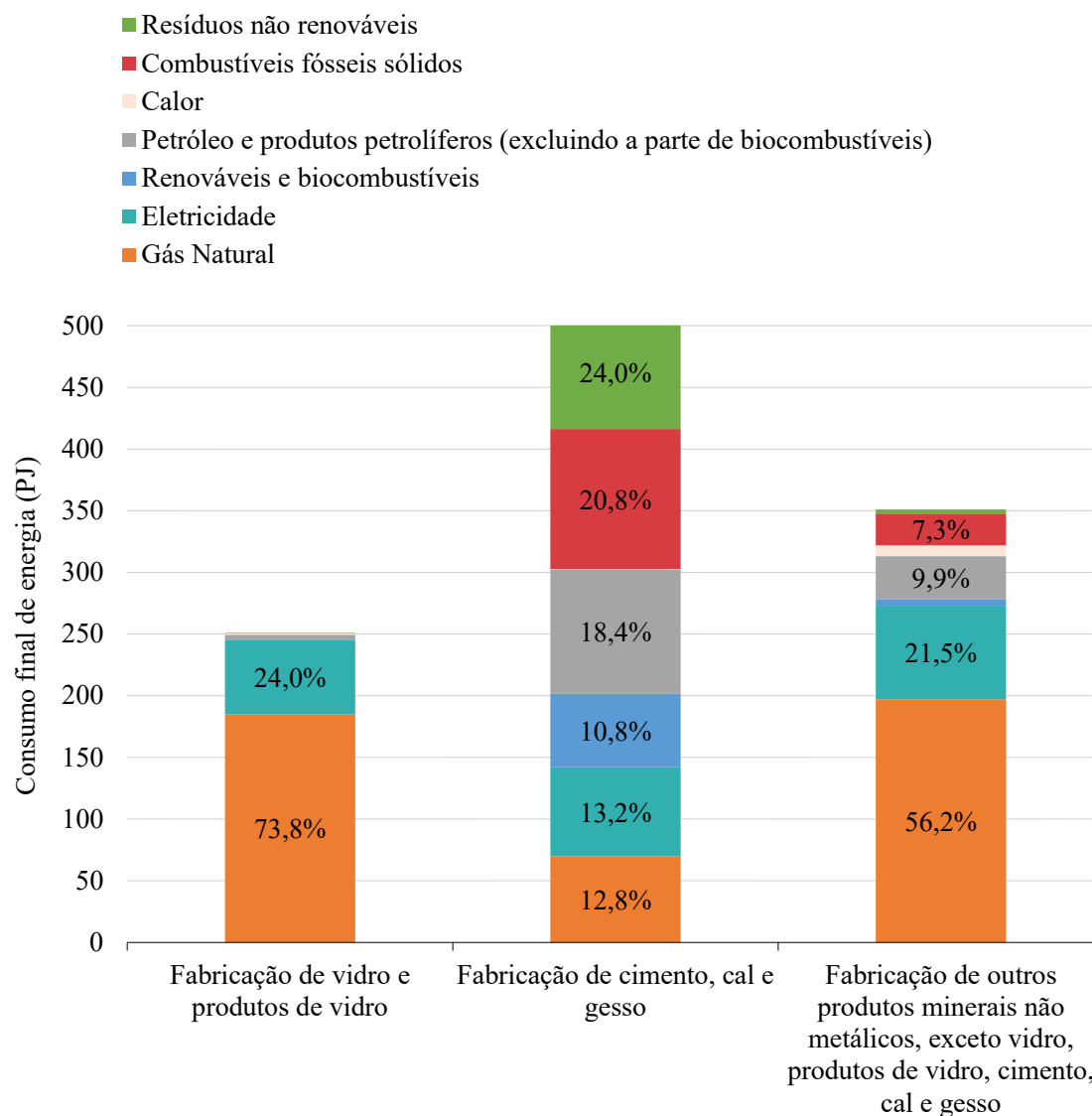


Figura 12 - Consumo final de energia final na indústria de minerais não metálicos por produto energético da UE em 2021, adaptado (Eurostat, 2023).

A indústria do papel e da pasta está subdividida na fabricação de papel e produtos à base do papel, na fabricação de celulose e na impressão e reprodução de suportes gravados. De acordo com os dados apresentados na Figura 13, na produção de papel e na impressão e reprodução de suportes gravados os recursos mais usados são a eletricidade, seguida pelo gás natural. No entanto, em relação aos anteriores, a produção de pasta só altera na questão da eletricidade que é substituída pelas energias renováveis e pelos biocombustíveis.

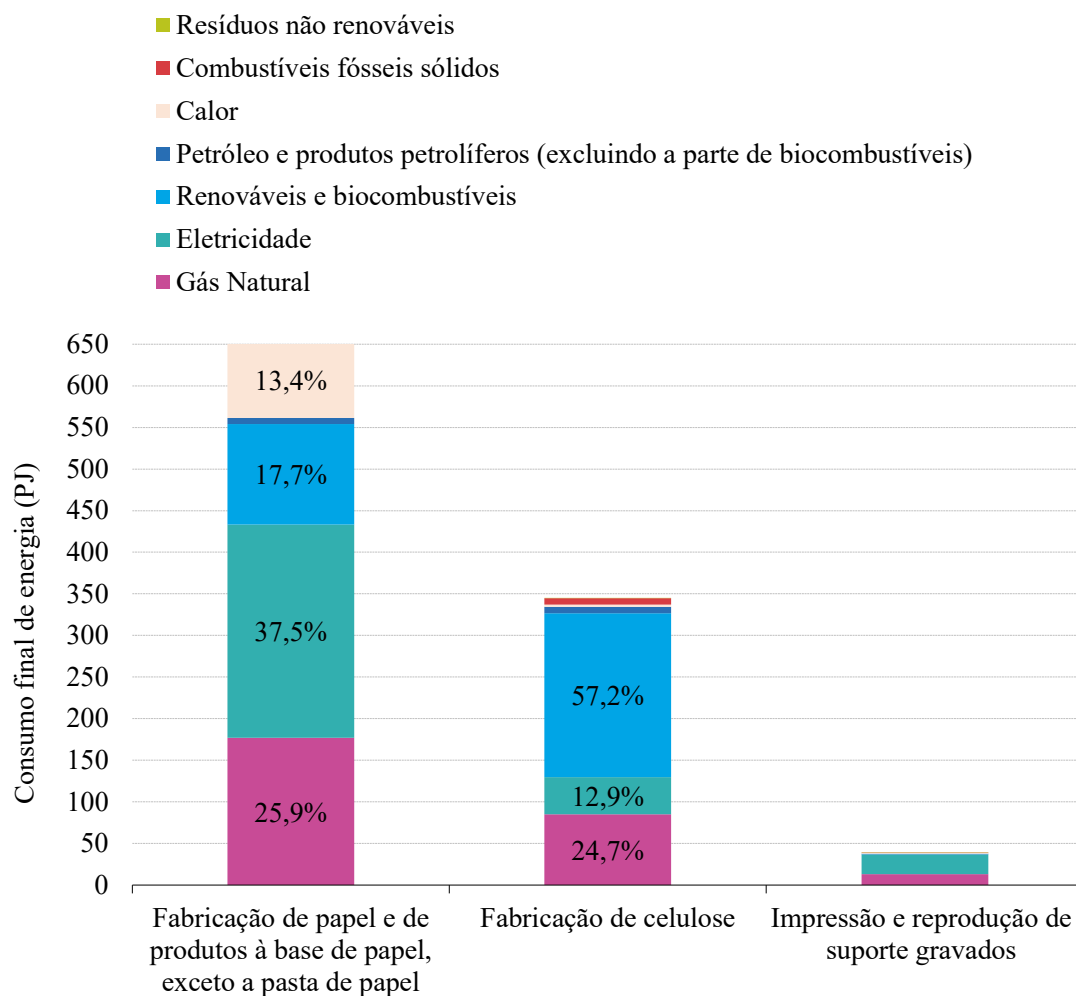


Figura 13 - Consumo final de energia na indústria do papel, da pasta de papel e da impressão por produto energético da UE em 2021, adaptado (Eurostat, 2023).

2.2. Intensidade energética

A intensidade energética é um indicador que tem como objetivo medir e avaliar a eficiência e a sustentabilidade da economia num determinado país, que representa a razão entre o consumo de energia e o Produto Interno Bruto (PIB). Neste caso, no consumo de energia é tido em consideração o somatório do consumo interno dos recursos, sejam as energias renováveis ou não renováveis. Por outro lado, o PIB é um indicador económico que está associado a medição da produção de bens e serviços finais num determinado país durante um intervalo de tempo, geralmente um ano ou semestre, avaliado com base nos preços do mercado ou estimativas consideradas como aceitáveis (Goldenergy, 2024). Quando é necessário comparar ou analisar o comportamento do PIB de um país num período, é importante saber se o PIB é real ou nominal.

O PIB nominal tem em consideração as variações dos preços mediante a inflação ou deflação. O PIB real é calculado com base nos preços constantes, selecionando um ano em específico e não tem em consideração o efeito da inflação. Neste caso, a intensidade energética analisa o crescimento económico nem sempre tem como consequência o aumento do consumo energético. O PIB de um determinado país pode continuar a crescer sem alterar o consumo de energia ou até mesmo diminuir, sendo que isto permite reduzir o impacto no meio ambiental, como por exemplo o efeito estufa e as alterações climáticas.

É possível observar na Figura 14, em termos de intensidade energética em Portugal por setor de atividade e um PIB real associado a 2016, que em 2022 o setor da indústria é o segundo mais intensivo em energia. No período de 20 anos, é possível observar que todos os setores de atividades registam, desde 2010, valores inferiores aos do ano de 2002. Além disto, verifica-se que o setor da agricultura e pesca ultrapassou o setor da indústria em 2020, sendo que posteriormente ambos diminuíram ligeiramente.

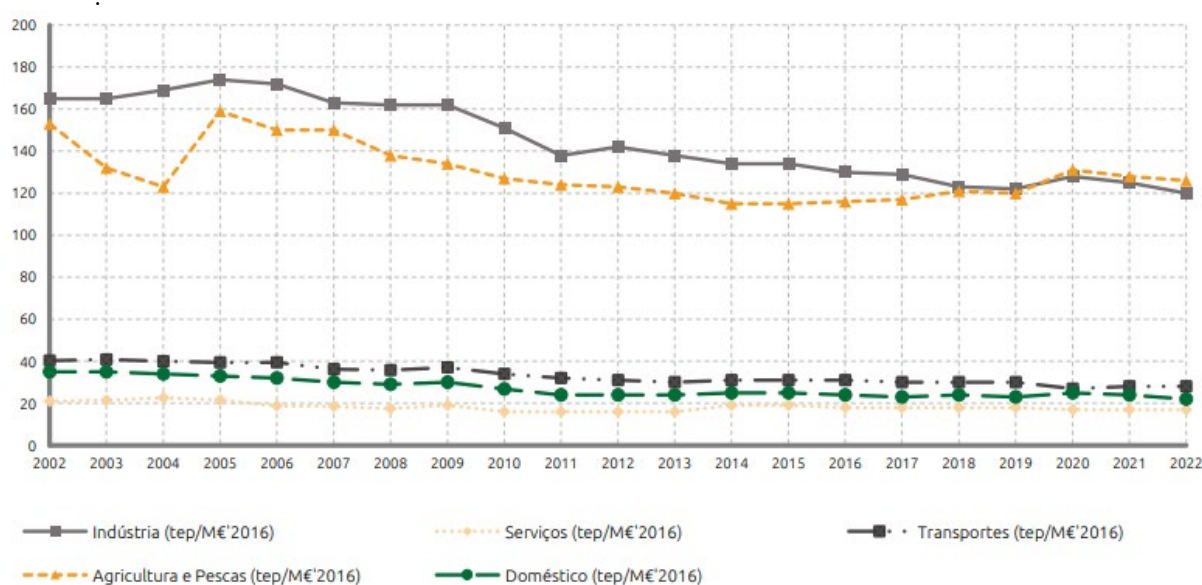


Figura 14 - Evolução da Intensidade Energética em Portugal por setor de atividade (DGEG, 2024).

2.3. Enquadramento legal com vista à eficiência energética

No contexto da Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2030 (PNAC), foi publicado a Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, de 10 de julho, que visa reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, aumentar o consumo de energias renováveis, eficiência energética, segurança energética, mercado interno e investigação, inovação e competitividade, com a finalidade de cumprir as metas definidas para o horizonte 2030.

No conjunto de legislação publicada nos últimos anos é possível destacar em particular a diretiva 2012/27/EU, mais conhecida como a diretiva da eficiência energética, que é composta por diversas indicações sobre a promoção da eficiência energética nos países da UE. Deste modo, foram definidos vários objetivos como a renovação de edifícios, as auditorias energéticas e sistemas de gestão da energia, a substituição dos contadores de eletricidade, as informações sobre a faturação, entre outros. Esta diretiva europeia foi transcrita em Portugal para o Decreto-lei nº 68-A/2015, de 30 de abril.

Existem diversos diplomas legais, como por exemplo no domínio da Estratégia Nacional para a Energia, o Decreto-Lei nº 71/2008, de 15 de abril, que regula o SGCIE, com o objetivo de impulsionar a eficiência energética e controlar os consumos energéticos de instalações consumidoras intensivas de energia. Além disto, este decreto legal define como instalações consumidoras intensivas de energia aquelas que no ano civil anterior tenham tido um consumo energético superior a 500 toneladas equivalentes petróleo (500 tep/ano), com exceção das instalações de cogeração. Deste modo, as auditorias energéticas são obrigatórias, nas seguintes condições:

- As instalações com um consumo de energia igual ou superior a 1000 tep/ano devem realizar de seis em seis anos, sendo que a primeira tem de ser feita no máximo de quatro meses após o registo;
- As instalações com um consumo de energia igual ou superior a 500 tep/ano devem realizar de oito em oito anos, sendo que a primeira tem de ser feita no máximo de um ano após o registo.

Segundo SGCIE (2024), as instalações incluídas no Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia têm os seguintes benefícios e isenções para a promoção a eficiência energética:

- “No caso de instalações com consumos inferiores a 1000 tep/ano – Ressarcimento de 50% do custo das auditorias energéticas obrigatórias, até ao limite de 750€ e na medida das disponibilidades do fundo de eficiência energética existentes para o efeito, recuperáveis a partir do relatório de execução e progresso que verifique a execução de pelo menos 50% das medidas previstas”;
- “Ressarcimento de 25% dos investimentos realizados em equipamentos e sistemas de gestão e monitorização dos consumos de energia até ao limite de 10 000 € e na medida das disponibilidades do fundo de eficiência energética existentes para o efeito”;

- “No caso das instalações que consumam apenas gás natural como combustível e/ou energias renováveis, os limites previstos anteriormente são majorados em 25% no caso das renováveis e 15% no caso do gás natural”.

Na Figura 15 é possível observar que houve um crescimento mais acentuado entre 2008 e 2014 nas instalações com consumo anual superior a 1000 tep, tendo posteriormente a taxa de aumento de registos abrandado. Já o número de instalações com um consumo anual menor que 1000 tep tem um crescimento quase linear, sendo que a partir de 2016 existem mais registos de instalações com um consumo anual menor que 1000 tep do que maior.

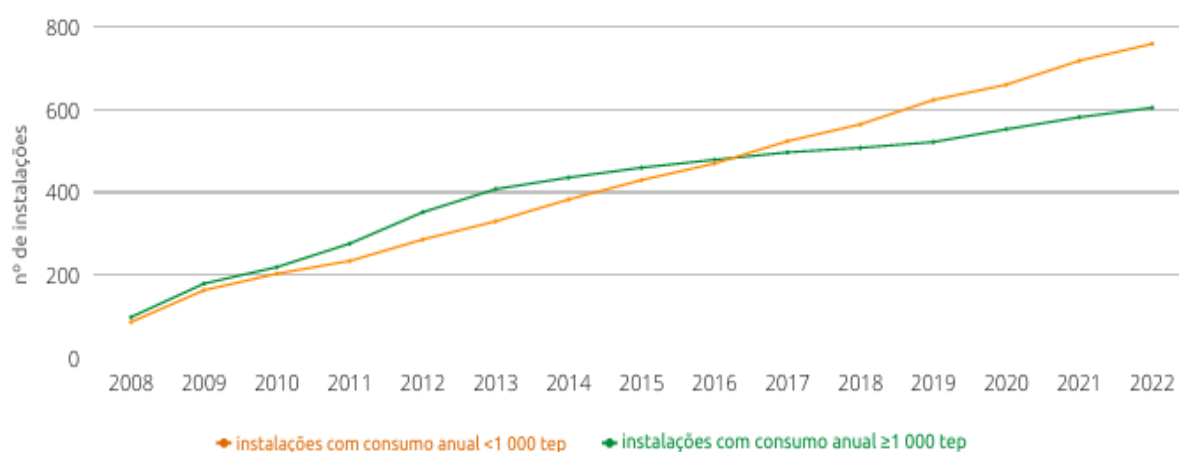


Figura 15 – Evolução do número de instalações registadas no SGCIE (2022).

No decorrer do ano de 2022, verifica-se que 84% das instalações registadas no SGCIE pertencem ao setor industrial, como demonstra a Figura 16.

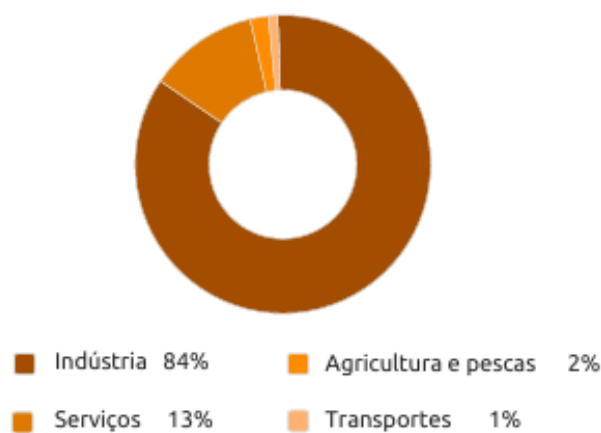


Figura 16 Instalações registadas por setor registadas em 2022 no SGCIE (2022).

Na Figura 17 é possível observar que os registos das instalações feitos em 2022 estão maioritariamente nos distritos do Porto, Braga, Aveiro e Lisboa.

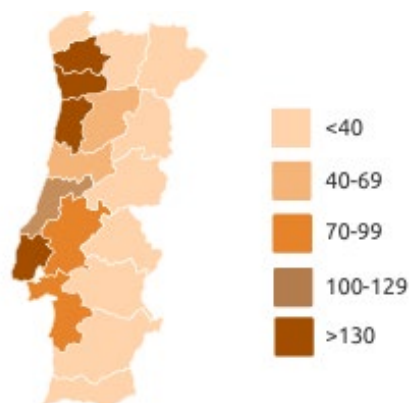


Figura 17 - Instalações registadas por distrito registadas em 2022 no SGIE (2022).

A realização de auditorias energéticas numa empresa tem como objetivos implementar o uso eficiente da energia das instalações, a redução da emissão de gases com efeito de estufa e a aplicação de medidas na redução dos custos energéticos. Após ser realizada a auditoria energética, é elaborado um plano de racionalização energética tendo em conta as características e as necessidades da indústria em análise. Isto significa que é criado um “manual” que estabelece diversas medidas e recomendações, como por exemplo a substituição por fontes de energia renováveis.

A aplicação da norma internacional ISO 50001 serve como base para a aplicação de um Sistema de Gestão de Energia que permite ajudar as organizações a estabelecer melhorias no desempenho energético global da organização, incluído a utilização, consumo e eficiência energética. Além disto, segundo Soares (2015) a *“ISO 50001 fornece uma base para as organizações demonstrarem que implementam um sistema eficaz de gestão da energia, não só para atingir melhorias no seu próprio desempenho energético, como também para comprar produtos e serviços energeticamente eficientes e incorporar desenvolvimentos para a melhoria do desempenho energético”* (p. 16). Os principais benefícios para a organização relativamente à implementação desta norma são a promoção da eficiência energética, a redução dos impactos ambientais, mais especificamente na emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera, incentivo para o uso de energias alternativas e renováveis, o cumprimento requisitos legais e a redução de custos. A ISO 50001 tem um elevado nível de compatibilidade com a ISO 9001 e a ISO 14001, sendo possível integrar com estes ou outros sistemas de gestão existentes.

Além disto, esta norma é baseada na estrutura de melhoria contínua da metodologia de PDCA integrada a gestão de energia nas práticas organizacionais diárias, conforme ilustrado na Figura 18. Neste enquadramento, a abordagem PDCA consiste na seguinte forma (Soares, 2015):

- *Plan* (planear) – recolher todos os dados sobre o consumo energético, possíveis desperdícios energéticos e avaliar a eficiência da instalação, tanto individual, como em conjunto com os restantes. Nesta fase, são definidos os indicadores de desempenho, objetivos, metas e planos de ação de gestão de energia, que serão desenvolvidos com a finalidade de melhorar o desempenho energético de acordo com as necessidades da organização;
- *Do* (executar) – implementação dos planos de ação definidos na fase anterior;
- *Check* (verificar) – monitorizar e medir os procedimentos e as características chave das operações que determinam o desempenho energético tendo em consideração os objetivos e as necessidades energéticas, devendo ainda ser apontados todos os dados, até mesmo as ineficiências;
- *Act* (atuar) – nesta fase serão aplicadas medidas corretivas, tendo em consideração os objetivos inicialmente definidos para que possam ser alcançados, tendo em consideração melhorar continuamente o desempenho do sistema de gestão energético.

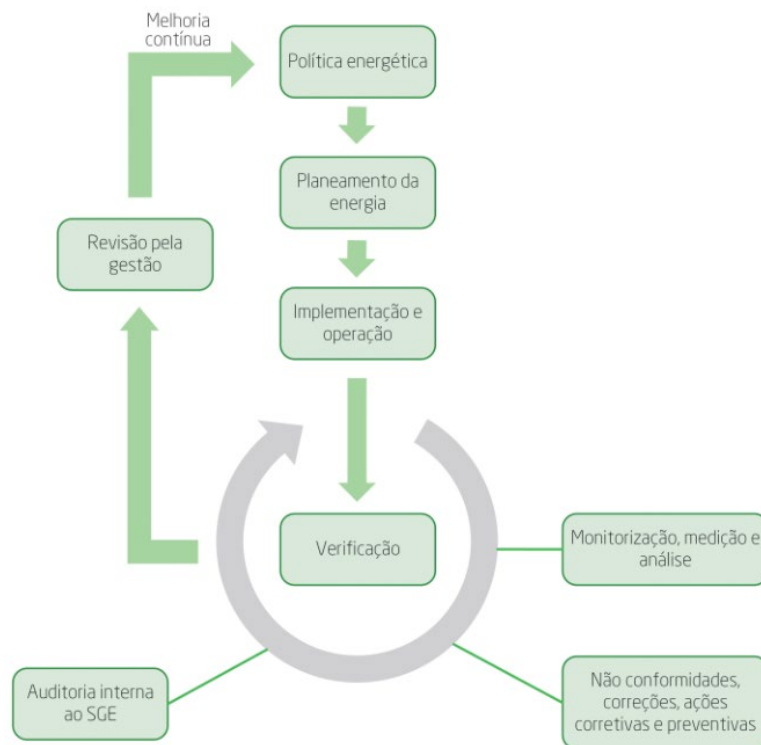


Figura 18 - Modelo de sistema de gestão de energia para a ISO 50001 (MEESI, 2010).

2.4. Medidas de incentivo e fomento à descarbonização da indústria

No contexto nacional, existem diversos apoios com o objetivo da descarbonização da indústria que podem ser aplicados a nível nacional ou regional, sendo que neste último caso têm como finalidade aplicar políticas territoriais mais específicas de acordo com as suas necessidades. Estes programas têm como finalidade cumprir os objetivos propostos para 2030, mas já tendo em vista os objetivos definidos no “Acordo de Paris” para 2050. Estes apoios permitem que as indústrias possam implementar ações que visam aumentar a eficiência energética e a utilização de energias renováveis para autoconsumo, que consequentemente permite que as indústrias sejam mais competitivas no mercado através da redução dos custos energéticos. Atualmente, existem diversos financiamentos a nível nacional na área da eficiência energética, a saber (MEESI, 2010):

- Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) – Visa implementar um conjunto de reformas e investimentos destinados a repor o crescimento económico sustentado, com um período de execução até 2026. As candidaturas estão abertas tanto a singulares como a empresas. Este programa atua sobre três componentes: resiliência, transição climática e transição digital.
- Fundo de Apoio à Inovação (FAI) – É um programa dedicado a projetos de inovação e desenvolvimento tecnológico, tendo como aplicação as áreas das energias renováveis e projetos de investimento em eficiência energética. Deste modo, o programa tem como finalidade estimular parcerias entre empresas e estabelecimentos científicos de forma encontrar soluções para os problemas do dia a dia em termos de eficiência energética. Além disto, o financiamento é dirigido para todas as empresas, em especial as pequenas e médias.
- Programas Operacionais Regionais – Visam implementar medidas associadas à Inovação e Transição Digital, num contexto mais direcionado para as regiões menos desenvolvidas do continente e para as regiões autónomas. Este programa é mais conhecido como COMPETE 2030 que tem como finalidade atuar ao nível da inovação e competitividade, na transição energética e nas competências para a competitividade.
- SUSTENTÁVEL 2030 – Consiste em colocar a sustentabilidade no centro da ação tendo como objetivo a criação de uma economia moderna, competitiva e eficiente na utilização de recursos. Deste modo, o programa tem como prioridade a atuação na

sustentabilidade e transição energética, na mobilidade urbana sustentável e nas redes de transporte ferroviário.

- Medida de Auxílio a Custos Indiretos do CELE 2024 – Esta medida tem como objetivo reduzir o risco significativo de fuga de carbono em setores e subsetores considerados expostos a um foco significativo de fuga de carbono, devido a custos associados a emissão de gases com efeito estufa refletidos no preço da eletricidade, com a finalidade de compensar estes custos. No entanto, a candidatura a este programa encontra-se encerrada e nem todas as atividades industriais se podem candidatar.
- Programa EDP: Save to Compete (S2C) – Este programa foi criado pela EDP, que tem como alvos incentivar a eficiência energética, a competitividade e a inovação. É adequado para empresas dos setores industriais portugueses e espanhóis. Permite às empresas investirem em soluções mais eficientes a nível energético, em que o retorno é gerado pelas poupanças.

3. Medidas de eficiência energética na indústria

Este capítulo aborda dois conjuntos de medidas classificados de medidas transversais, os quais podem conduzir a uma maior eficiência energética em todos os setores da indústria transformadora nacional. São também apresentados alguns artigos que investigam alternativas para diminuir o consumo energético ou o custo associado ao mesmo.

3.1. Medidas transversais

A gestão de energia tem como objetivo reduzir os custos operacionais na indústria, o que significa consumir menos energia para a mesma produção ou produzir mais com a mesma energia. É uma responsabilidade fundamental da gestão de energia efetuar a identificação das oportunidades de poupança, sendo isso possível quando existe uma equipa ou uma chefia nomeada, que atua na questão de gestão de custos energéticos.

As medidas de uma boa gestão energética que maioritariamente correspondem a melhorias de eficiência energética dos diferentes sistemas e processos com pouco ou nenhum investimento podem ser realizadas num curto espaço de tempo. A monitorização regular de consumos pode mostrar facilmente a existência de funcionamentos incorretos dos equipamentos ao nível das fugas e, nos casos que implicam a combustão, é crucial regular o excesso de ar que por si só permite melhorar a eficiência energética. É importante tomar medidas para um funcionamento mais eficiente de todo o tipo de equipamentos, como por exemplo o controlo de consumos, um maior controlo operacional, a manutenção melhorada, a eliminação de fugas e um melhor planeamento de horário.

Na indústria existem diversos processos que são considerados complexos e envolvem várias etapas, que consomem uma elevada quantidade de energia na iluminação, na produção de calor e frio, nos equipamentos elétricos, na secagem, na movimentação de cargas, entre outras. Desde o processamento de matérias-primas à produção de bens ou serviços finais, são usados equipamentos e processos que consomem energia. Este consumo gera um custo bastante significativo para as indústrias, que cada vez mais procuram estratégias mais eficientes a nível operacional e que reduzam os gastos. Além disto, as indústrias procuram cada vez mais alternativas de forma a reduzir o impacto ambiental de determinados processos, ou seja, sejam mais sustentáveis.

As medidas transversais, apresentadas na Tabela 2, são as que podem ser aplicadas à generalidade das indústrias existentes em Portugal. Estas serão as que proporcionam maiores efeitos em termos do aumento da eficiência energética para o conjunto da economia portuguesa (Soares, 2015). Por outro lado, representa uma análise mais aprofundada que resultou numa lista de medidas ou tecnologias que foram consideradas viáveis e possuidoras de elevadas hipóteses de sucesso. Nota-se que se espera que as poupanças anuais previstas na Tabela 2 comecem a efetivar cinco anos após o início do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética.

Tabela 2 – Medidas transversais que podem contribuir para eficiência energética na indústria. Adaptado de Soares (2015)

Medidas Transversais	
Categorias de medidas	Medidas ou tecnologia
Sistemas acionados por motores elétricos	Otimização de motores
	Sistema de bombagem
	Sistemas de ventilação
	Sistemas de compressão de ar
Produção de calor e frio	Cogeração
	Sistemas de combustão
	Recuperação de Calor
	Frio Industrial
Iluminação	
Eficiência do processo industrial ou outros	Monitorização e controlo
	Tratamento de efluentes
	Integração de processos
	Manutenção de equipamentos
	Isolamentos térmicos
	Transportes
	Formação e sensibilização de recursos humanos
	Redução da energia reativa

Conforme a Tabela 2, é possível constatar que uma das medidas com maior potencial de ter impacto na eficiência energética é uma medida transversal a toda a indústria – “Eficiência do Processo Industrial ou Outros”. Por sua vez esta medida, tão impactante no contributo para a eficiência energética da indústria portuguesa, desdobra-se nas seguintes ações exclusivamente processuais e organizacionais:

- Monitorização e controlo;

- Integração de processos;
- Manutenção de equipamentos;
- Sistemas de transporte;
- Formação e sensibilização de recursos humanos.

Deste modo, a eficiência energética é considerada um fator transversal a todo o tipo de indústrias.

3.1.1. Sistemas acionados por motores elétricos

Na indústria, os motores elétricos são os mais usados, devido à facilidade do seu transporte e limpeza e simplicidade de comando. Deste modo, a indústria substitui equipamentos que usam combustíveis, como gás ou óleo, por outros que convertem energia elétrica em mecânica. No dia a dia é possível observar várias aplicações de motores elétricos, nomeadamente: bombas, compressores, ventiladores, transportadores, cargas de refrigeração, elevadores, válvulas, robots, tapetes rolantes, misturadores, etc. (Sá, 2016).

Os motores elétricos podem ser alimentados com corrente contínua ou alternada, sendo estes últimos divididos em duas categorias: síncronos ou assíncronos (MEESI, 2010). O motor de corrente contínua tem um custo elevado e necessita de uma fonte de corrente contínua ou de um retificador (que tem como função converter corrente alternada em contínua). Este motor permite que a velocidade seja ajustada e adapta-se a controlos de grande flexibilidade e precisão. Os motores de corrente alternada são os mais usados, sendo a sua alimentação feita por corrente alternada. Os motores síncronos funcionam a uma velocidade fixa, sendo normalmente usados quando são necessárias velocidades estáveis, para grandes potências, com um custo elevado. (Sá, 2016). Os motores assíncronos funcionam a uma velocidade que varia com a carga aplicada ao eixo, sendo os mais utilizados devido ao baixo custo e manutenção mínima.

Os fatores que influenciam o desperdício de energia elétrica são os equipamentos com baixo rendimento, baixo fator de potência, os equipamentos sobredimensionados e com cargas variáveis mal aproveitadas (Sá, 2016).

Além disto, deve-se ter em atenção que estes tipos de equipamentos precisam de uma manutenção regular (verificação periódica ou inspeções, limpeza e condições ambientais, lubrificação e comissionamento), que é fundamental para o bom desempenho a nível mecânico e o aumento do período de vida útil do motor. Assim sendo, se os motores elétricos forem bem geridos é possível obter grandes poupanças na fatura elétrica.

Otimização de motores

A otimização dos motores elétricos é fundamental para reduzir os custos operacionais e aumentar a eficiência dos processos industriais.

A Figura 19 apresenta a transformação de energia elétrica em energia mecânica, através de um motor elétrico. Os motivos pelos quais ocorrem perdas energéticas em motores elétricos são o dimensionamento incorreto ou sobredimensionamento dos motores, as perdas de potência no sistema, as perdas mecânicas, as perdas extraviadas e as perdas térmicas.

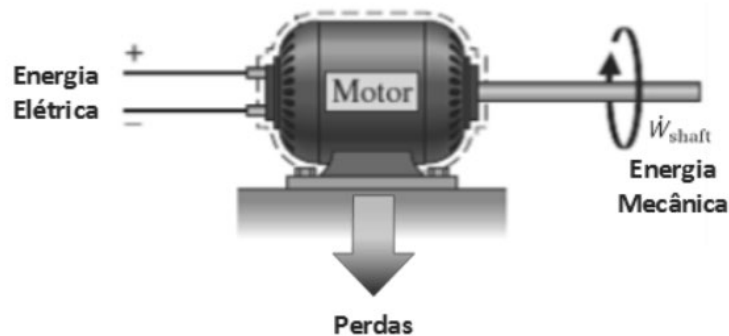


Figura 19 - Balanço energético de um motor elétrico. Adaptado MEESI (2010).

As medidas de eficiência energética a adotar são:

- Substituição por motores elétricos mais eficientes;
- Avaliação do potencial de utilização de Variadores Eletrônicos de Velocidade (VEV), que têm como finalidade ajustar a velocidade do motor de acordo com a carga;
- Evitar picos de corrente utilizando arrancadores suaves;
- Manutenção adequada dos motores;
- Otimização de sistemas de transmissão mecânica entre o motor e o equipamento utilizador final.

A utilização de motores mais eficientes permite que exista uma redução ao nível das perdas ativas, aumento do fator de potência, maior tempo de vida dos equipamentos, aumento da fiabilidade, sustentam melhor as variações de tensão e são mais silenciosos (Sá, 2016). Existem diversas situações que motivam uma empresa a investir em motores mais eficientes tais como a instalação de um novo equipamento ou motor, a avaria de um motor existente e no caso de um motor existente estar sobredimensionado para as necessidades produtivas da indústria. É importante realizar uma avaliação económica do investimento devido ao elevado investimento neste tipo de equipamentos para verificar se a implementação de motores elétricos é viável.

Sistemas de bombagem

Existem muitas unidades industriais que utilizam motores elétricos para acionar sistemas de bombagem. Os sistemas de bombagem são importantes ao nível da eficiência energética nas indústrias, sendo possível identificar os sistemas que têm maiores perdas, com o objetivo de aplicar medidas para os tornar mais eficientes. Um sistema de bombagem é geralmente constituído pelas seguintes componentes: bomba, equipamento de acionamento da bomba, válvulas, tubagem e equipamentos (tanques, permutadores de calor, etc.). Existem diversas medidas a nível técnico que permitem poupar energia, que são as seguintes (Sá, 2016):

- Selecionar uma bomba de eficiência elevada;
- Selecionar uma bomba mais bem dimensionada;
- Efetuar uma manutenção periódica e aplicar medidas de melhoramento (por exemplo, aplicar um revestimento na bomba, repor as fugas internas e conservar ou modificar impulsos);
- Instalar VEV ou melhorar o *layout* do sistema com o objetivo de garantir uma variação de caudal sem recorrer a válvulas reguladoras de caudal (por exemplo, usar várias bombas em paralelo);
- Melhorar o controlo do sistema (por exemplo, desligar as bombas desnecessárias, usar variadores de velocidade e usar pequena bomba auxiliar de aumento de pressão);
- A escolha da bomba deve ser feita de acordo com o caudal e a carga total, que é o somatório da carga estática com a carga dinâmica, tendo também em consideração o tipo de fluido a deslocar;
- Substituição de motores elétricos convencionais por motores elétricos mais eficientes.

A eficiência de um sistema de bombagem depende da eficiência de vários equipamentos que constitui o sistema. Como é possível observar na Figura 20, para a mesma potência de saída, um sistema ineficiente poderá absorver mais do dobro da potência absorvida por um sistema otimizado. É possível observar que as duas principais medidas que modificam sistemas de bombagem convencionais em sistemas de alta eficiência são a aplicação de VEV (que permitem variar a velocidade de rotação dos motores elétricos) e a substituição de bombas convencionais por bombas mais eficientes (MEESI, 2010).

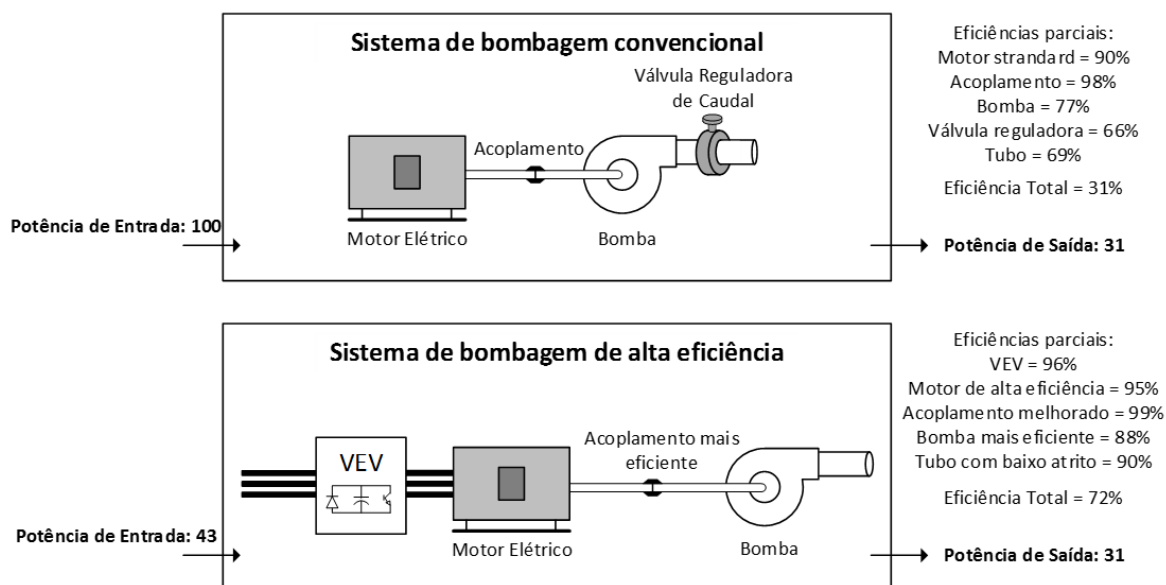


Figura 20 – Sistema de bombagem convencional e sistema de bombagem de alta eficiência com VEV (MEESI, 2010).

Os VEV têm como finalidade solucionar as alterações nas condições de carga do motor através da variação da sua velocidade. A utilização de VEV permite obter uma melhoria ao nível do desempenho e da fiabilidade, que consequentemente origina grandes poupanças energéticas e apressa a amortização dos investimentos associados à sua instalação e utilização, reduzindo o *payback* (Carvalho, 2014). Esta medida tem muito potencial de poupança em sistemas monitorizados devido ao seu papel crucial na poupança direta de energia.

Sistemas de ventilação

Os sistemas de ventilação são muito importantes na indústria porque têm como finalidade renovar a qualidade do ar, como por exemplo eliminar agentes contaminantes libertados nas unidades industriais, os quais poderão constituir um risco para a saúde do trabalhador. A inalação persistente das poeiras de polimentos, resíduos de solda, rebarbação, solventes, gases e outros tipos de sujidade pode afetar o sistema respiratório dos trabalhadores que estão neste tipo de ambiente (Magueijo, 2008). Atualmente, existe a Norma Portuguesa NP – 1796 (2007), que fixa os valores limites de exposição a agentes químicos no ar dos locais de trabalho. Estes sistemas podem ser de insuflação (introdução de ar num ambiente) e de exaustão (retirar o ar do meio ambiente). O sistema de ventilação tem os seguintes principais componentes: captadores, ventiladores (centrífugos ou axiais), tubagem, exaustores, filtros de ar, serpentinas, abafadores de ruídos, entre outros.

Existem diversas medidas que, permitem economizar energia, nomeadamente (Sá, 2016):

- Utilizar ventiladores com um rendimento máximo;
- Substituir ventiladores sobredimensionados;
- Substituir motores sobredimensionados de ventiladores por outros mais adequados e com melhores rendimentos;
- Utilizar um recuperador de calor (permutador) na exaustão de ar ou gás;
- Utilizar captações específicas em locais poluídos em vez de um sistema geral de ventilação;
- Aspirar apenas a quantidade mínima de ar necessário;
- Desligar qualquer ventilador quando não necessário;
- Equilibrar as pressões na rede: verificar ou controlar as pressões e os caudais nos diferentes troços da rede e equilibrar as perdas de carga;
- Limpar ou remover poeiras em filtros e condutas.

Sistemas de compressão de ar

Os sistemas de compressão de ar são muito importantes porque são utilizados na grande maioria dos processos industriais, em setores como a produção de aço, de vidro ou cimento, agroalimentar, têxtil, entre outros. Este tipo de sistema é constituído por compressores, depósito de ar comprimido, secadores de ar comprimido, rede de distribuição, filtros e lubrificadores (Figura 21).

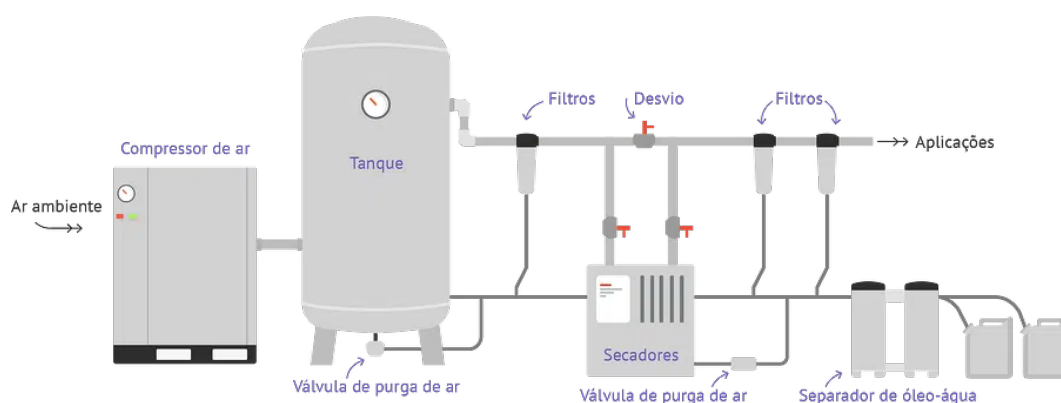


Figura 21 - Exemplo de um sistema de compressão de ar, (METRON, 2024)

O correto dimensionamento de um sistema de compressão de ar é fundamental para reduzir os custos na indústria, devido ao facto de evitar perdas devido a fugas de ar comprimido e as perdas na rede elétrica (Sá, 2016).

Para este tipo de sistema obter uma melhor eficiência energética é necessário aplicar algumas das seguintes medidas (METRON, 2024):

- Otimizar e verificar as válvulas reguladoras de pressão, os filtros, os lubrificadores, os secadores e os purgadores de condensadores;
- Elaborar um plano de manutenção;
- Verificar a qualidade do óleo de lubrificação, se acordo com as instruções do fabricante;
- Verificar o estado de limpeza do separador de óleo;
- Verificar os filtros de admissão de ar, os filtros de óleo e o estado dos purgadores;
- Detetar e reparar fugas periodicamente;
- Diminuir a extensão da rede;
- Usar purgas de condensados;
- Substituir motores, compressores e/ou secadores sobredimensionados;
- Melhorar o sistema de controlo do compressor;
- Eliminar utilizações não apropriadas de ar comprimido.

3.1.2. Produção de calor e frio

As produções de calor e frio são normalmente duas constituintes da energia térmica que permitem que vários processos industriais sejam executados. O calor é uma energia de movimento que é comumente obtido pela combustão de combustíveis. Deste modo, é necessário ter em atenção ao tipo de recursos usados na combustão em termos ambientais. No entanto, o frio é obtido através de equipamentos de compressão e evaporação, em que ambos consomem energia elétrica e usam fluídos refrigerantes (MEESI, 2010).

Cogeração

A cogeração (*Combined Heat and Power*, CHP) é um processo de produção combinada de energia térmica e de energia elétrica, tendo como apenas uma única fonte de combustível (fuelóleo, gás natural, biomassa, gás propano, resíduos industriais). Este sistema permite tornar a indústria mais competitiva porque aproveita uma parte do calor que as máquinas térmicas naturalmente rejeitam ao produzir energia elétrica. Neste tipo de sistemas, os equipamentos mais usados são as turbinas a gás, turbinas a vapor e motores alternativos.

Na Figura 22, é possível observar que o ar atmosférico é conduzido ao compressor, onde a sua temperatura e pressão são elevadas. Na câmara de combustão, o ar entra em contacto com o combustível (neste caso o gás natural) que irá queimar a pressão constante. Os gases resultantes da combustão, a alta temperatura, entram na turbina, onde são expandidos, produzindo trabalho. O trabalho útil é a diferença entre o trabalho fornecido pela turbina e o trabalho entregue ao compressor. O calor associado aos gases de exaustão pode ser aproveitados através da instalação de um recuperador de calor. Este permite obter este calor para produzir vapor ou água quente.

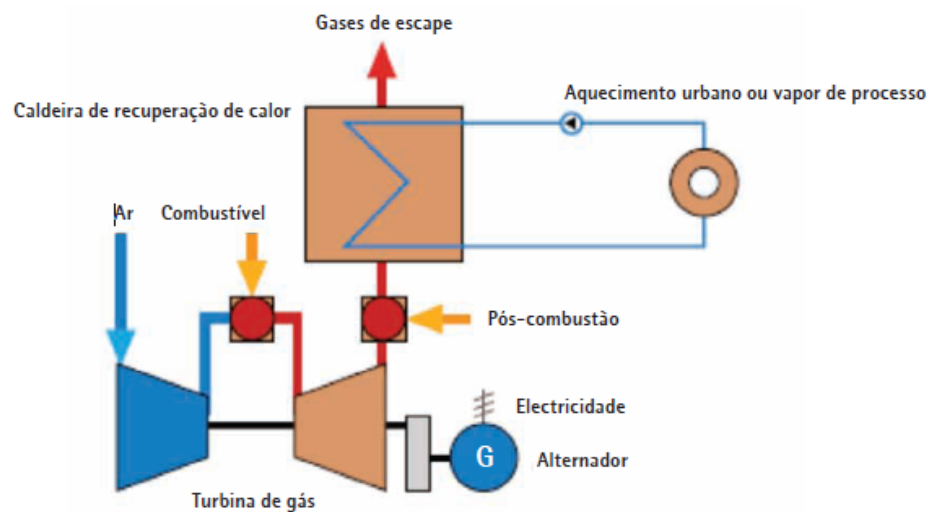


Figura 22 - Esquema de uma tecnologia básica de cogeração: turbina a gás (Voltimum, 2016).

As centrais termoelétricas produzem eletricidade através da queima de combustíveis fósseis que origina vapor a alta temperatura e pressão, que ininterruptamente é conduzido para uma turbina que gera energia mecânica, posteriormente convertendo-a em energia elétrica (MEESI, 2010). Estes tipos de centrais convencionais têm rendimentos inferiores a 40% e perdas superiores a 60%, como é exemplificado na Figura 23. A energia térmica não aproveitada perde-se através dos gases de combustão que saem pela chaminé.



Figura 23 - Rendimento de uma unidade convencional de geração de energia elétrica (MEESI, 2010).

A cogeração utiliza maioritariamente a energia térmica que normalmente é perdida nas unidades convencionais, o que permite aumentar a eficiência energética global do processo, como demonstra a Figura 24. Deste modo, a eficiência global ao nível de aproveitamento da energia primária na cogeração é superior à de uma central de convencional.



Figura 24 - Rendimento de uma unidade de cogeração de geração de energia elétrica (MEESI, 2010).

A cogeração, em relação a um sistema convencional, é um equipamento vantajoso, uma vez que diminui o consumo de energia primária quando se quer produzir eletricidade e calor. A produção da eletricidade permite reduzir os custos de aquisição de energia elétrica e a produção de calor garante o abastecimento de energia térmica. Por outro lado, tem como desvantagens um investimento inicial relativamente elevado, dificuldade no transporte da energia térmica, não sendo possível implementar este tipo de sistema se não existirem equipamentos consumidores de energia térmica (Goldenergy, 2024).

A título exemplificativo, Branchini (2021) apresenta os resultados de um projeto de investigação destinado a definir os benefícios da utilização de sistemas de cogeração na indústria da cerâmica. As unidades de CHP instaladas são usadas para gerar eletricidade no local, enquanto a energia térmica gerada pelos gases de exaustão é usada diretamente para alimentar o secador por pulverização, reduzindo assim o consumo de gás natural. Os resultados obtidos do estudo realizado mostram que os motores de combustão interna costumam ser a escolha preferida, devido aos valores de eficiência de conversão mais altos na produção de eletricidade. As turbinas a gás parecem ser a escolha preferida apenas quando o tamanho da unidade do secador por pulverização é alto e o objetivo é minimizar o consumo de entrada de gás natural para o secador.

Panoutsou (2020) avaliou o desempenho de um sistema de cogeração a biomassa, sendo usado para ilustrar como uma estratégia de eficiência energética. A biomassa é considerada um recurso renovável porque o CO₂ libertado durante a sua combustão é compensado pelo CO₂ absorvido pelas plantas durante o seu crescimento.

No entanto, é fundamental realizar uma gestão dos recursos de biomassa de forma sustentável para evitar a degradação ambiental e garantir a viabilidade a longo prazo. As principais matérias-primas de biomassa que podem ser usadas são os resíduos florestais primários, podas e madeira para paisagismo, resíduos agrícolas (por exemplo, palha) e lenhosas perenes (por exemplo, arbustos e árvores como o pinheiro, o eucalipto, o carvalho, entre outros). A biomassa é uma das fontes de energia essenciais nas políticas de economia circular e de baixo carbono.

Além disso, a CHP é considerada uma via importante para aumentar a eficiência do sistema energético e reduzir as emissões globais de CO₂. O CHP combina a produção de energia e calor, em um sistema integrado. A combinação de uma matéria-prima renovável com um sistema CHP permitem minimizar o desperdício de energia, tornando-se mais eficiente e económico.

Sistemas de combustão

Os sistemas de combustão são os que mais produzem energia para o funcionamento da indústria. No entanto, a sua utilização provoca danos no meio ambiente, o que faz com que a indústria comece a procurar alternativas mais sustentáveis. Um sistema deste inclui caldeiras, fornos, secadores e sistemas de geração e distribuição de vapor (Magueijo, 2008). É possível melhorar a eficiência energética de equipamentos que produzem calor com a queima de combustíveis através da aplicação de algumas medidas, tais como:

- Ter atenção à temperatura de combustão;
- Controlar a humidade do produto a secar;
- Otimizar os regimes de carga;
- Garantir um bom isolamento térmico das tubagens, válvulas e flanges;
- Eliminar fugas de vapor e de condensadores;
- Instalar sistemas de controlo automático;
- Limpar os tubos do fumo;
- Analisar a possibilidade de substituir a caldeira ou o combustível;
- Regular a quantidade e a dosagem das matérias-primas;
- Evitar perdas de calor;
- Inspeccionar e fazer a manutenção dos equipamentos de forma periódica;
- Motorizar as condições de humidade do ar na secagem;
- Ajustar as condições de combustão.

Recuperação de calor

Os recuperadores de calor são equipamentos que utilizam o calor gerado nos processos industriais para aquecer água ou ar, o que permite uma maior eficiência energética e uma redução de custos. A recuperação de calor pode ser feita em gases de combustão, efluentes quentes ou frios, ar de exaustão, produtos de restos de produção, água de arrefecimento, fontes termais naturais, painéis solares, calor de sobreaquecimento, entre outros (Magueijo, 2008). Os equipamentos mais usados para a recuperação de calor são os permutadores de calor, as bombas de calor (Figura 25) e recompressão mecânica de calor. O uso dos recuperadores de calor tem como vantagem a redução de emissões de gases com efeito de estufa para o meio ambiente e ao aumento da eficiência energética.

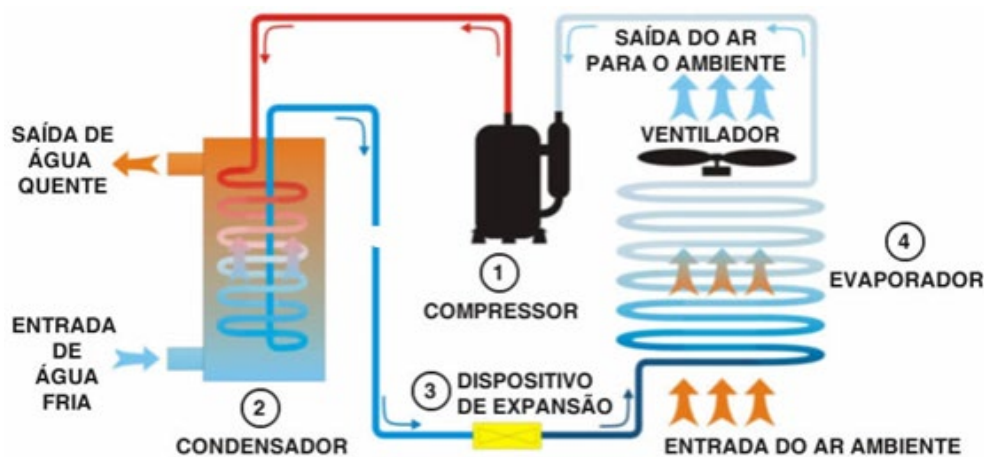


Figura 25 - Exemplo de uma bomba de calor (Potencializee, 2023).

Frio industrial

Os sistemas de frio industrial são na sua grande parte constituídos por sistemas de refrigeração por compressão mecânica de vapor. Um sistema de refrigeração remove o calor de um determinado espaço, com a finalidade de diminuir e manter a temperatura ambiente (Fernandes, 2016). Estes sistemas têm como funcionalidade o inverso dos ciclos de potência, pois recebem trabalho em vez de o produzirem. Um dos exemplos mais usados a nível doméstico é o frigorífico. Os principais elementos de um sistema de refrigeração, que se encontram representados na Figura 26, são (MEESI, 2010):

- Evaporador – o refrigerante a baixa temperatura evapora retirando calor de um determinado espaço, obtendo-se o seu arrefecimento (fluido a pressão constante recebe calor);

- Compressor – o vapor à saída do evaporador é comprimido até à pressão do condensador, para que o condensador funcione de forma eficiente (entrada de trabalho e compressão adiabática);
- Condensador – o vapor comprimido condensa (a pressão constante liberta calor);
- Válvula – o condensado é expandido com uma diminuição de temperatura (arrefecimento sensível).

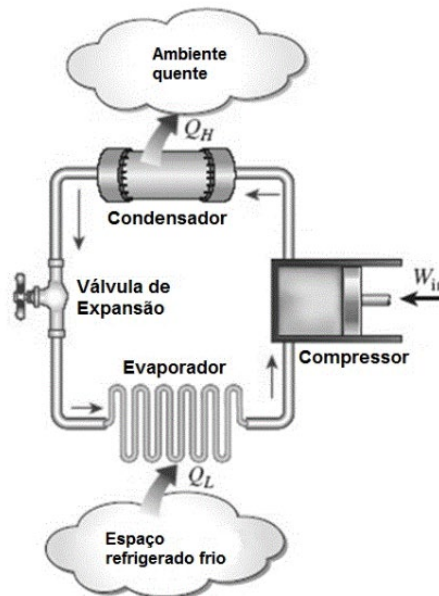


Figura 26 - Esquema de ciclo de refrigeração por compressão de vapor (MEESI, 2010).

3.1.3. Iluminação

A iluminação na indústria deve ser adequada para as necessidades de cada posto de trabalho, devendo-se dar prioridade à iluminação natural. Quanto à instalação de luminárias, deve-se optar pelo uso de equipamentos de elevado rendimento e fazer uma monitorização dos mesmos. As reduções do consumo de energia elétrica nas instalações indústrias passam pelo uso de lâmpadas de elevada eficiência luminosa. O seu valor é expresso em *lumens* por *Watt* (lm/W), que relaciona a quantidade de luz emitida e a quantidade de energia elétrica absorvida. Atualmente, existem vários tipos de lâmpadas no mercado desde as incandescentes tradicionais, as incandescentes de halogéneo, fluorescente compacta até às *Light Emitting Diode* (LED). Na Figura 27 são apresentados os consumos e os *outputs* de vários tipos de lâmpadas existentes para a produção de 1600 *lumens*, possibilitando realizar uma comparação das respetivas características básicas em termos de desempenho (potência, eficácia energética, duração e custos).

As lâmpadas incandescentes tradicionais eram as mais usadas por serem baratas, no entanto já foram proibidas de serem comercializadas. Duravam muitas horas, mas gastavam muita energia. Já as lâmpadas incandescentes de halogéneo ou fluorescente compacta gastam menos energia em relação às anteriores e têm uma maior duração. A solução mais eficiente são as lâmpadas LED, que gastam muito menos energia em relação a todas as lâmpadas disponíveis no mercado. Apesar do investimento inicial neste tipo de lâmpadas ser mais alto, o custo/benefício compensa a longo prazo, uma vez que o seu tempo de vida útil é mais longo.

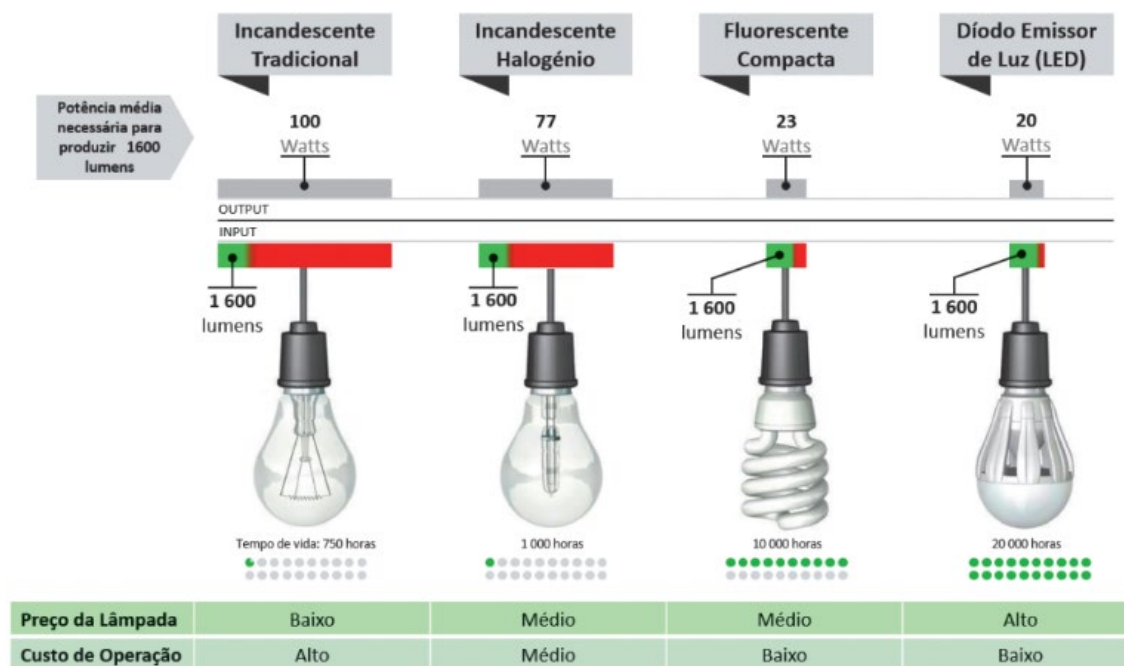


Figura 27 - Comparação do desempenho de diferentes tipos de lâmpadas na produção de 1600 *lumens* (MEESI, 2010).

A informação disponível nos rótulos das embalagens das lâmpadas, inclui a classe de eficiência energética (desde a classe A, mais eficiente, até à classe G, a menos eficiente), que permite facilitar a escolha na hora de comprar o artigo.

Por outro lado, é importante aplicar sistemas de controlo de iluminação utilizando reguladores de fluxo de luminoso. Além disto, é possível instalar vários sensores que têm como funcionalidade desligar a iluminação caso não seja detetado movimento. Isto permite reduzir o custo associado à energia (MEESI, 2010).

3.1.4. Eficiência do processo industrial

Atualmente, a indústria equaciona rever todos os seus procedimentos, com o objetivo de solucionar os problemas ao nível energético e ambiental. Deste modo, é necessário introduzir mudanças e inovações que sejam mais eficientes e eficazes, aplicando adequadamente os avanços tecnológicos.

Monitorização e controlo

É fundamental implementar procedimentos para monitorizar e controlar, de modo regular, os equipamentos de forma a detetar o funcionamento mais adequado para o processo que se está a realizar e os desperdícios de energia (caso existam). A aplicação destes procedimentos tem um custo relativamente baixo para a empresa que os implementa, mas permite criar medidas mais específicas que sejam eficientes e adequadas para as suas necessidades produtivas (Magueijo, 2008).

Integração de processos

A integração de processos pode ser aplicada no início como em processos já existentes, tendo como objetivo reduzir os custos associados à produção. É necessário utilizar racionalmente a energia e matérias-primas, reduzir efluentes e subprodutos e minimizar as emissões gasosas. Este tipo de metodologia está inserido nas intervenções na área dos motores elétricos, da produção de frio e calor, da iluminação e no procedimento de otimização de processos. Por último, a integração de processos permite obter uma melhor eficiência dos equipamentos disponíveis, diminuindo o consumo excessivo de energia, e ainda promove a competitividade da indústria (MEESI, 2010).

Manutenção de equipamentos

A manutenção de equipamentos é um conjunto de medidas elaboradas pela indústria que tem como finalidade fiscalizar e garantir o bom funcionamento das máquinas industriais. Esta prática tenta evitar paragens de um determinado equipamento, de forma a manter o planeamento de produção sem imprevistos. Neste caso, é necessário que os equipamentos consumidores de energia sejam monitorizados, que se apliquem manutenções periódicas e, caso seja necessário, realizar as reparações necessárias. Deste modo, deve-se aplicar serviços de gestão de energia que permitem que sejam detetadas anomalias, através da medição de consumos energéticos (como por exemplo, eletricidade, água, gás ou combustíveis).

A manutenção de equipamentos consumidores de energia tem como objetivo otimizar a eficiência energética na indústria, como por exemplo identificar e reparar qualquer fuga ou falha no equipamento que afete o bom funcionamento, proceder periodicamente a operações de limpeza e de manutenção nos sistemas de iluminação, etc. (Magueijo, 2008).

Isolamentos térmicos

Os isolamentos térmicos de superfícies (caldeiras, condutas de distribuição de vapor, de água quente, de fluido térmico e/ou de condensados) tem como finalidade originar uma barreira térmica que permite diminuir as perdas por transferência de calor. Esta técnica é simples e tem baixo custo de implementação; minimiza as perdas de calor, protege os equipamentos, controla a condensação, controla as temperaturas do processo, protege contra o fogo, fornece proteção para o frio e permite fazer isolamento acústico (Magueijo, 2008).

Tratamento de efluentes

O procedimento de tratamento de efluentes tem como finalidade encaminhar as águas utilizadas nos processos industriais para tratamento, de forma a reduzir a contaminação das águas (MEESI, 2010). Existem diversas técnicas de tratamento de águas industriais que permite diminuir o consumo energético, tais como:

- Decantação – promove a deposição no fundo de tanques das partículas de maior dimensão que se encontram em suspensão na água;
- Filtragem – consiste em reduzir os sólidos em suspensão para níveis de micrograma por litro;
- Desinfecção – eliminação de organismos patogénicos;
- Precipitação química – separação de uma substância através da sua solidificação;
- Desmineralização – tem como finalidade remover os sais dissolvidos e os minerais sólidos, os quais em solução tendem a ionizar;
- Desgaseificação – consiste em remover o O₂, N₂ e CO₂ dissolvidos na água;
- Processos anaeróbicos – consistem em limpar as águas residuais através de bactérias num ambiente sem oxigénio;
- Processos de membrana – tem como tecnologia a eletrodialise, osmose inversa, ultrafiltração e microfiltração.

Transporte

Na indústria existem diversos sistemas de transporte (por exemplo, empilhadores, elevadores e esteira transportadora). Deste modo é fundamental otimizar as cargas e os motores elétricos, com o objetivo de diminuir o consumo de recursos energéticos. Neste caso, deve ser realizado uma implementação de sistema de gestão e motorização regular ao nível dos recursos energéticos (Magueijo, 2008).

Formação e sensibilização de recursos humanos

A formação e sensibilização dos recursos humanos é muito importante para que a indústria possa implementar diversas medidas para a redução do consumo energético. O responsável por operar o equipamento tem de ter conhecimento do funcionamento em condições ótimas e as medidas de segurança. Neste caso, a indústria deve dar acesso a formações e ações de sensibilização ou motivação sobre o funcionamento e os impactos ambientais da utilização de energia (Magueijo, 2008).

Redução da energia reativa

A energia reativa refere-se à parte da energia elétrica que não realiza qualquer tipo de trabalho. No entanto, esta é utilizada em equipamentos que possuem cargas indutivas (como bobinas, transformadores, geradores, motores elétricos, etc.), resultando numa redução do fator de potência. A redução da potência reativa destes equipamentos, normalmente através do uso de condensadores permite obter poupanças elétricas através do aumento do fator de potência. Por exemplo, a substituição de motores convencionais por motores de alta eficiência energética, evitar que os equipamentos consumam potência reativa (Magueijo, 2008).

3.1.5. Integração da energia renovável com base em sistemas PV

Com a subida do preço da eletricidade e a descida de preços da tecnologia fotovoltaica cada vez mais se justifica a implementação de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo. Estes sistemas permitem poupar no consumo de energia proveniente da rede.

O Decreto-Lei 162/2019 de 25 de outubro de 2019 que regula o autoconsumo, surge como a oportunidade de as empresas poderem produzir energia para consumo próprio e o excedente pode ser vendido.

A energia produzida é usada preferencialmente na instalação de autoconsumo e os excedentes de produção podem ser injetados na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP).

O modelo de autoconsumo pressupõe a adequação da capacidade de produção ao regime de consumo existente no local, reduzindo ao máximo a injeção de energia na RESP, tendo também em consideração a regularidade do consumo. Este modelo de produção descentralizada de energia a partir de energias renováveis, em particular a partir do sol, obtém-se uma maior eficiência quando a instalação é dimensionada de acordo com as necessidades da instalação de consumo.

De acordo com o artigo 5.º do Decreto-lei 162/2019 de 25 de outubro, que estabelece os requisitos para acesso à atividade de autoconsumo, estipula-se que podem proceder à atividade de autoconsumo, através de Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC), independentemente do nível de tensão das instalações de consumo:

- Os consumidores individuais;
- Os consumidores coletivos, organizados em condomínios de edifícios em regime de propriedade horizontal ou não, ou um grupo de consumidores situados no mesmo edifício ou zona de apartamentos ou de moradias, em relação de vizinhança próxima, unidades industriais, comerciais ou agrícolas, e demais infraestruturas localizadas numa área delimitada, que disponham de UPAC;
- As CER (Comunidades de Energia Renovável).

A UPAC solar fotovoltaica assenta no esquema de funcionamento da Figura 28. A energia produzida pelo sistema fotovoltaico de produção é medida por um contador de saída e injetada na rede interna, ficando disponível para consumo instantâneo. Em caso de não ser consumida, a energia pode ser injetada na rede elétrica.

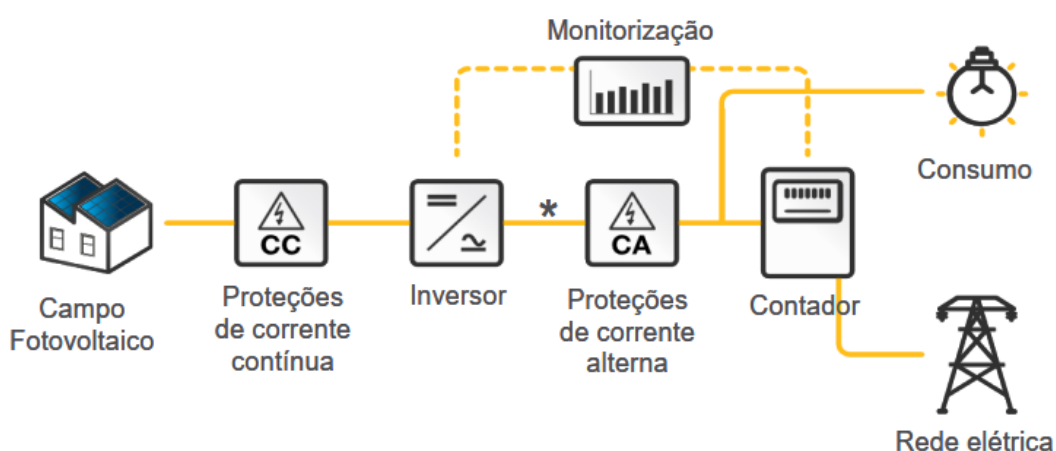


Figura 28 - Descrição geral da instalação do sistema fotovoltaico.

Para alcançar o melhor rendimento da instalação de sistema de painéis fotovoltaicos é fundamental o seu correto dimensionamento, o qual deve ter em consideração as necessidades de consumo da indústria.

Os painéis fotovoltaicos devem ser instalados com uma orientação e inclinação de acordo com a latitude do local, de modo a maximizar o rendimento da instalação. No entanto, deve-se ter em consideração antes de realizar a instalação do sistema PV, as seguintes variáveis de forma a se poder maximizar a produção elétrica fotovoltaica:

- Orientação – corresponde à direção para a qual seus painéis solares estão voltados;
- Inclinação – remete-se para o ângulo de inclinação dos painéis solares em relação à superfície do telhado ou do solo. Este ângulo é fundamental para otimizar a absorção da luz solar ao longo do dia e das diferentes estações.

O sucesso deste tipo de instalação nas indústrias apoia-se no fato de realizarem a maior parte da sua atividade durante o dia, pois é nessas horas que há um maior consumo de energia. Os sistemas PV são construídos a partir de materiais semicondutores e quando a radiação solar chega à superfície das células fotovoltaicas, a energia dos fótons liberta elétrons, produzindo um fluxo ordenado ou, por outras palavras, uma corrente elétrica (Iberdrola, s.d.), como mostra a Figura 29.

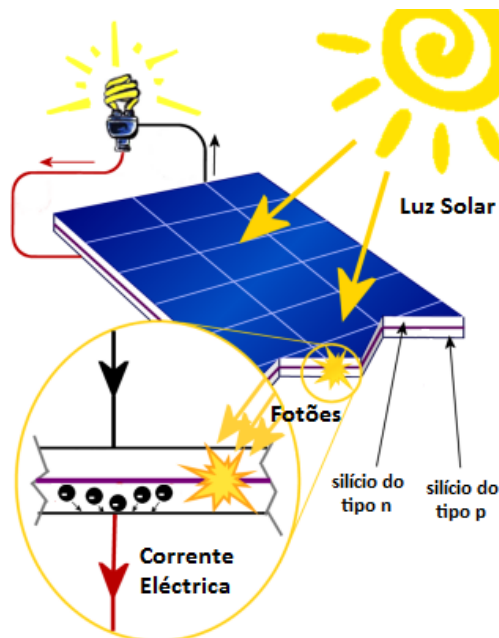


Figura 29 - Esquema do funcionamento dos painéis fotovoltaicos (Centrais elétricas, s.d.)

Para aumentar a potência fotovoltaica de saída, as células fotovoltaicas são conectadas em série (para aumentar a voltagem), em paralelo (para aumentar a corrente) ou em série-paralelo (para produzir a corrente e a voltagem necessárias) para formar um painel fotovoltaico (ou um módulo fotovoltaico). Da mesma forma, os painéis fotovoltaicos também podem ser conectados em série e/ou em paralelo para formar um conjunto fotovoltaico que melhor atenda às necessidades da aplicação, dependendo da voltagem e da corrente necessárias (Hammoumi, 2022).

Existem vários tipos de células fotovoltaicas, tais como de película fina, silício monocristalino, silício policristalino e células amorfas. Segundo Sá (2016), “finas placas de silício com uma dimensão de poucos milímetros pode gerar uma tensão elétrica quando a luz incide sobre ela” (p. 62). O custo elevado das células solares não está associado à escassez de matéria-prima, porque o silício é um elemento químico que existe em abundância na crosta terrestre e as suas reservas são consideradas como ilimitadas. No entanto, o custo sobe pelas seguintes razões:

- O silício produzido tem de ser de elevada pureza, sendo o silício da crosta terrestre considerado extramente impuro;
- O silício tem de ser fundido e em seguida arrefecido lentamente e minuciosamente para que os átomos fiquem com uma estrutura cristalina perfeita.

O setor de energia é um grande contribuidor para as emissões globais de gases de efeito estufa, necessitando de uma transição para fontes de energia renováveis. No entanto, o alto custo dos painéis solares continua a ser um desafio. As células solares orgânicas oferecem uma alternativa promissora às células convencionais baseadas em silício devido aos seus baixos custos de produção e flexibilidade (Rodríguez-Mas, 2023).

Na Tabela 3, é possível observar que a tecnologia mais eficiente é a de painéis de silício monocristalino, mas esta tem um custo de venda mais elevado. O silício amorfo é mais barato, mas tem uma eficiência inferior à das outras duas tecnologias apresentadas.

Tabela 3 - Tecnologias fotovoltaicas mais comuns, adaptado (Sá, 2016)

Tecnologia	Eficiência	Custo
Silício monocristalino	13 – 15%	Mais elevado
Silício policristalino	11 – 13%	Barato
Silício amorfo	7%	Mais barato

Vantagens da aplicação de um Sistema PV

Os preços da energia têm uma repercussão direta na indústria. Este custo incide na rentabilidade das empresas e na sua capacidade em continuarem no mercado. O investimento em sistemas PV para a indústria pode ser simplesmente amortizado pela poupança gerada nos autoconsumos, uma vez que a indústria tem um consumo elevado de energia elétrica. A utilização deste recurso permite reduzir as emissões de CO₂ e as próprias indústrias valorizam a sua imagem no mercado por serem sustentáveis.

Quando a indústria começa a analisar a possibilidade de investir em painéis fotovoltaicos, esta tem como objetivo produzir e consumir a sua própria energia, que consequentemente reduz o consumo de energia da rede e a respetiva fatura de eletricidade. Além disto, assegura um custo fixo da energia que produz e não está sujeito à subida dos preços da eletricidade. No momento que a indústria pretender investir em painéis fotovoltaicos deve verificar se existem apoios ou subsídios atribuídos pelo Governo, que permitam reduzir o período de amortização. Além disto, a indústria pode optar por vender a energia excedente à rede.

A utilização de sistemas PV é bastante vantajosa para as indústrias pelos seguintes motivos (Santos, 2023):

- Poupança energética e aumento da autonomia energética – o autoconsumo da energia solar proporciona a autonomia energética das indústrias uma vez que estas passam a produzir a sua própria energia e deixam estar dependentes de terceiros. Deste modo, as poupanças na fatura da eletricidade são bastante significativas;
- Retorno sobre o investimento – apesar do investimento inicial ser bastante elevado, a manutenção dos painéis solares é bastante fácil e económica. Em média, o retorno sobre o investimento começa a partir do quinto ano de instalação. Por outro lado, existe a possibilidade de vender a energia produzida em excesso à rede elétrica de serviço público;
- Maior competitividade – qualquer a indústria que decida investir em energia solar será reconhecida no mercado como sustentável e conseguirá novos parceiros e clientes face a concorrência, uma vez que os consumidores procuram relacionar-se com indústrias que tenham fortes políticas de sustentabilidade;
- Instalação fácil – é bastante simples. Depende da área disponível para a instalação, que pode determinar a quantidade e a dimensão dos painéis usados;

- Durabilidade do equipamento – os painéis solares duram, em média, 25 anos desde a sua instalação. O equipamento é resistente às alterações climáticas, sendo apenas necessário realizar uma limpeza anual dos painéis para retirar a sujidade;
- Incentivos para as indústrias – existem diversos incentivos para a instalação de painéis de energia solar para as indústrias. Desde 1 de julho de 2022, o Governo decretou a redução do IVA de 23% para 6% na instalação de sistemas PV, no âmbito do PRR.

3.2. Exemplos de medidas aplicadas em diferentes setores industriais

No Apêndice I é realizada uma breve revisão de algumas medidas relevantes em que se evidenciam algumas das medidas transversais sugeridas no subcapítulo anterior.

Chou (2021) aborda o potencial crescimento da tecnologia *Wind-assisted ship propulsion* (WASP) e as implicações ao nível da economia de recursos energéticos, que consequentemente permite reduzir as emissões de CO₂. O WASP é usado pelos transportes marítimos e aproveita o vento para adicionar a propulsão através de forças aerodinâmicas. Esta tecnologia pode ser usada pelas empresas para obterem poupanças ao nível dos recursos energéticos, sendo que pode ser usada como complemento.

Tristán (2020), propõe que as indústrias criem uma metodologia para melhorar e identificar as medidas de flexibilidade energética disponíveis em sistemas industriais, como por exemplo uma auditoria energética interna. Os resultados da auditoria facilitam a tomada de decisão da indústria para a implementação, avaliação e gestão de capacidades, com o objetivo de ajustar as necessidades produtivas de cada setor. Esta metodologia permite que exista uma melhoria contínua dos métodos e ferramentas aplicadas, devido a monitorização diária, que permite reduzir os consumos energéticos.

O artigo de Chicaiza (2021) visa analisar o impacto do carbono em todo o sistema produtivo da indústria de construção. Para reduzir as emissões de CO₂ é analisada a implementação de tecnologia de *Carbon Capture and Storage* (CCS) que é constituída por três etapas: a captura, o transporte e o armazenamento. A primeira etapa é a captura que consiste num processo de dissociação do CO₂ do gás de combustão usando métodos químicos, físicos ou biológicos. De seguida, ocorre o processo de transporte do CO₂ capturado para o local de armazenamento, em que é usado um processo de injeção do CO₂ em formações geológicas profundas ou, em alternativa, o CO₂ pode ser convertido em outros produtos.

A aplicação desta medida permite obter melhorias ao nível ambiental, económico e energético. Isto deve-se à escolha das melhores práticas, como a conservação de energia e o uso racional de combustíveis.

Segundo Kim (2022), as indústrias siderúrgicas têm-se preocupado com as emissões dos seus fornos e cúpulas. Este artigo desenvolve quatro alternativas ao nível tecnológico fundamentais: hidrogénio, eletrificação direta e bioenergia. Estas são consideradas boas opções para a descarbonização do processo da siderurgia. O hidrogénio poderia ser usado diretamente como agente redutor no processo de produção de aço e, por conseguinte, tem um excelente potencial para a redução do CO₂. A aplicação de qualquer destas tecnologias possibilita a existência de benefícios diretos da redução das emissões de carbono, poupança de energia e financeira e reduzirá o período de retorno da descarbonização.

Viétor (2015) aborda a reorganização do sistema energético na Alemanha que estava centralizado nos combustíveis fósseis e na energia nuclear para um sistema mais sustentável. Foi realizada uma análise das partes interessadas para identificar os pontos de vista, posições e barreiras experimentadas em relação à adoção e integração da tecnologia descentralizada de cogeração. No entanto, foram verificados vários obstáculos como a falta de serviços de mercado, a falta de políticas suficientes de apoio à difusão de unidades de cogeração, entre outros.

Lesourd (2001) analisa a possível evolução a longo prazo do investimento em painéis fotovoltaicos, tendo em consideração o tempo que levará a obter o retorno financeiro e a evolução do nível técnico destes equipamentos, devido à competitividade do mercado. O artigo demonstra que é crucial fazer uma avaliação financeira para verificar se é viável ou não o investimento, em que o período de amortização pode ocorrer entre 5 e 10 anos.

Segundo Wei (2019), a indústria é um dos setores mais difíceis de descarbonizar. Com a rápida queda do custo da energia solar fotovoltaica, eólica e baterias de armazenamento, a eletrificação da indústria, juntamente com o fornecimento de eletricidade renovável, tem o potencial de ser um caminho fundamental para se alcançar a descarbonização da indústria.

Deste modo, a eletrificação indireta, ou seja, a produção de hidrogénio por eletrólise da água, é outra tecnologia complementar dependente da eletricidade. O hidrogénio pode ser utilizado como vetor de energia, matéria-prima industrial ou para armazenamento de energia (armazenamento sazonal), pelo que também pode desempenhar um papel fundamental na descarbonização da indústria. Tal como acontece com a eletrificação direta, o custo é a principal barreira para a implantação de recursos de hidrogénio.

Kamran (2024) apresenta os resultados de um estudo sobre a viabilidade e a economia de fontes de energia renováveis para a indústria de processamento de aves usando estimativas históricas de consumo de energia e custos. Neste estudo de caso, é analisada a aplicação de um sistema de painéis fixos e a introdução de matéria-prima de combustível de biomassa e carvão para a combustão na caldeira existente. O impacto cumulativo da utilização de energia solar fotovoltaica e biomassa na energia, na economia e no meio ambiente beneficia o setor industrial. A indústria de processamento de aves é responsável por cerca de 38% do consumo total global de energia final (incluindo fornos e energias de matéria-prima).

A tecnologia do sistema painéis é utilizada para preencher a lacuna na procura de energia causada pelo aumento do consumo de energia. O consumo médio anual de eletricidade da instalação é de 9938 MWh. Durante o período de análise, o consumo de eletricidade atingiu o máximo de 964 MWh em julho. Os resultados mostram que um sistema solar fotovoltaico de 1,3 MW pode ser instalado devido ao menor acesso ao telhado e à disponibilidade de espaço aberto para instalação solar fotovoltaica. O consumo de eletricidade de base é de 9938 MWh, e um sistema solar fotovoltaico no local é instalado para reduzir esse número até certo ponto. Os módulos solares fotovoltaicos selecionados para o sistema proposto são módulos monocristalinos da *Triana Solar Company*. O inversor escolhido para o sistema tem capacidade de 200 KW e eficiência de 98,6%.

A biomassa tem potencial considerável para aplicações industriais como caldeiras. Usar biocombustíveis na geração de energia para plantas que atendem aos objetivos de energia fóssil e redução de emissões de CO₂ é vital para as metas de sustentabilidade. A redução do uso de carvão como combustível em caldeiras, sendo este substituído por madeira, leva a uma redução significativa dos custos com o combustível, totalizando 15,5% de redução em relação ao preço inicial. Por último, o impacto cumulativo da utilização de um sistema de painéis e biomassa na energia, na economia e no meio ambiente beneficia o setor industrial. Explorar sistemas painéis permite reduzir a dependência da rede nacional e atingir instalações industriais com emissões líquidas zero.

Gerres (2018) identifica as áreas consideradas chave para a redução das emissões, cumprir as metas definidas para a descarbonização e propor a introdução de novas tecnologias intersectoriais, tais como os processos de eletrólise, a aplicação da produção baseadas em hidrogénio e a infraestrutura de captação/utilização de carbono. Os setores industriais identificados na Tabela 4 são os setores que mais consomem energia, como é possível observar na Figura 10.

Em suma, verifica-se que das cinco áreas mais discutidas sobre a redução de emissões para as indústrias identificadas mostra que a descarbonização requer avanços tecnológicos em dez áreas principais (como é possível observar na Tabela 4): recuperação de calor, sistemas de produção de energia eficientes, biomassa e resíduos de base biológica, fornecimento de calor de processo, matérias-primas alternativas, eletrólise, calor e cogeração, fornos industriais e separação por membrana. A maioria das áreas de potencial de redução é relevante para mais do que um sector.

Tabela 4 – Diferentes medidas para obter a eficiência energética para cada setor. Adaptado (Gerres, 2018).

Ferro e Aço	Petroquímica	Cimento	Papel e Pasta de Papel	Cerâmica	Vidro	Alimentação
Sistemas de Produção de energia	Processos Catalíticos	Matéria-prima alternativa	Equipamento de Fornos Industriais	Sistemas de Produção de energia	Sistemas de Produção de energia	Fornecimento de calor de processo
Sistema de Eletrólise	Sistemas de Recuperação de calor	Biomassa & Resíduos de base biológica	Sistemas de Recuperação de calor	Sistemas de Recuperação de calor	Sistemas de Recuperação de calor	Equipamento de Fornos Industriais
Reciclagem de gases de combustão	Processo de Separação por Membranas	Sistema de CCS	Sistema de CCS	Sistema de Cogeração	Tecnologia Pré-Aquecedor	Sistema de Cogeração
Sistema de CCS	Sistema de Cogeração	Sistemas de Produção de energia	Biomassa & Resíduos de base biológica	Biomassa & Resíduos de base biológica	Processo Oxi-combustível	Biomassa & Resíduos de base biológica
Sistemas de Recuperação de calor	Sistema de CCS	Sistemas de Recuperação de calor	Fornecimento de calor de processo	Matéria-prima alternativa	Matéria-prima reciclada	Processo de Separação por Membranas

Na Tabela 4, as áreas de redução de emissões estão coloridas a vermelho, representando o fornecimento de energia sob a forma de calor. O verde indica as matérias-primas ou os combustíveis alternativos. As tecnologias assinaladas a azul correspondem a processos de separação química e mecânica aplicados principalmente no meio líquido. A CCS está assinalada a cinzento. A eletrólise é apenas uma das opções mais discutidas para a indústria do ferro e do aço.

A substituição e atualização de tecnologias de processo existentes depende da vida útil restante dos equipamentos atualmente instalados, dos seus custos operacionais e custos esperados para novas tecnologias. Melhorias no fornecimento, recuperação e reutilização de calor auxiliar não implicam mudanças no sistema de produção. A introdução no mercado de novas soluções comercialmente competitivas nessas áreas ocorrerá de forma incremental em um horizonte de médio prazo.

Após a análise dos artigos, é possível identificar duas situações relevantes em que as indústrias podem aumentar a eficiência energética: investirem em energias renováveis, como por exemplo através da instalação de sistemas PV, e na substituição de equipamentos mais eficientes ou melhorias de processo. Em ambos os casos, é crucial realizar uma avaliação financeira com o objetivo de verificar se o projeto é viável do ponto de vista do retorno do investimento. Por outro lado, verifica-se que a redução de emissões de carbono está sempre de alguma forma associada à redução dos custos para a indústria. Por último, uma das tecnologias mais citadas para implementar na indústria é a cogeração e o CCS.

4. Considerações finais

A implementação das medidas de eficiência energética transversais à indústria contribui para a redução dos consumos e encargos com a energia consumida.

A maior parte das medidas transversais podem ser aplicadas na generalidade das indústrias intensamente consumidoras de energia. Desta forma, foram identificadas como principais medidas de ecoeficiência industrial: a implementação de tecnologias e práticas que reduzem o consumo de energia em equipamentos e operações; o aproveitamento de calor residual de processos para outros fins produtivos; a instalação de sistemas de energia com recurso à incorporação de fontes renováveis como a solar, eólica ou biomassa; o aproveitamento e transformação de subprodutos industriais em matéria-prima para outros processos; a substituição de sistemas de produção de energia a diesel ou gás natural por soluções de eletrificação; a instalação de luminárias de elevada eficiência; ou a adoção de tecnologias de baixo carbono como os sistemas de captura, utilização e armazenamento de carbono para reduzir emissões de CO₂ em indústrias como a indústria do cimento, siderurgia ou petroquímica.

Constatou-se que, nas indústrias intensivamente consumidoras de energia, existe um grande potencial de economia de energia através da aplicação de sistemas PV, através da conversão da radiação solar em energia elétrica. A energia gerada a partir do sistema PV é para autoconsumo da indústria, permitindo a estas reduzir a energia comprada a rede. No caso de existir um excedente de produção é possível vender energia a rede, com um preço mais reduzido em relação ao preço que compra.

Referências Bibliográficas

Carvalho, J. (2014). Regulação de Velocidade em Motores de Corrente Contínua. *Neutro à Terra*, (13). <https://doi.org/10.26537/neutroaterra.v0i13.403>

Centrais Elétricas. (s.d.). Como funciona uma Central Fotovoltaica? <https://rd9centralelectrica.webnode.pt/desenvolvimento/centrais-fotovoltaicas/como-funciona-uma-central-fotovoltaica-/>

Claro, P., Claro, D. (2014). Sustentabilidade estratégica: existe retorno no longo prazo? *Revista de Administração*, 49(2), 291-306. <https://doi.org/10.5700/rausp1147>

Costa, M. (2021, maio 13). Economia Linear – Uma Postura Insustentável para o nosso Planeta. Consultada: 15/07/2024. <https://www.beecircular.org/post/economia-linear>

COTEC Portugal. (2016). Economia Circular. <https://cotecportugal.pt/pt/projects/economia-circular/>

CTCV. (s.d.). Economia Circular. <https://www.ctcv.pt/economiacircular/acerca.html>

Delab | Energy Efficiency & Green Power. (2016, dezembro). PLANO NACIONAL DE ENERGIA E CLIMA 2030. Consultado: 06/09/2024. <https://delab.pt/plano-nacional-energia-e-clima-2030-2/>

DGEG. (2024). Energia em Números, edição 2024. <https://www.dgeg.gov.pt/media/e1eb3n0l/dgeg-aen-2024e.pdf>

EUROSTAT. (2023, maio 9). Disaggregated final energy consumption in industry - quantities by NACE.

Eurostat. (2024, abril 25). Electricity prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards). Consultado: 29/05/2024. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/NRG_PC_204

Ferreira, J. (2013). A Gestão e a Utilização Eficiente da Energia: A Importância da Eficiência Energética e o Programa ECO.AP. Robótica.

Goldenergy. (s.d.). Cogeração. <https://goldenergy.pt/glossario/cogeracao/>

Goldenergy. (s.d.). Intensidade Energética. <https://goldenergy.pt/glossario/intensidade-energetica/>

Gonçalves, M. (2020, agosto 18). As dimensões da Sustentabilidade. Consultada: 08/07/2024. <https://medium.com/n%C3%BACleo-de-design-sustentabilidade-ufpr/as-dimens%C3%B5es-da-sustentabilidade-b0bf824913b6>

Hammoumi, A., Chtita, S., Motahhir, S., Ghzizal, A. (2022). Solar PV energy: From material to use, and the most commonly used techniques to maximize the power output of

PV systems: A focus on solar trackers and floating solar panels. *Energy Reports*. (8). <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.054>

Kamran, M., Sajid, J., Sajid, M., Ahmad, M., Ismail, M., Sajid, M. (2024). Energy efficiency and greenhouse gas emission reduction potential of solar PV and biomass-based systems for a food processing plant. *Case Studies in Thermal Engineering*. (60). <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104674>

Magueijo, V. (2008). *Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto*. Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – Grupo de Trabalho Indústria. https://strathprints.strath.ac.uk/73119/1/Magueijo_etal_2010_Medidas_de_eficiencia_energetica_aplicaveis_a_industria_portuguesa.pdf

Martins, F. (2016). A reação das empresas portuguesas à crise económica e financeira: principais choques e canais de ajustamento. https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/papers/re201603_p.pdf

MEESI. (2010.). *Outras Medidas para o Aumento da Eficiência Energética*. https://www.meesi.pt/medidas-transversais/capitulo-8-outras-medidas-para-aumento-de-eficiencia-energetica#footnoteref54_r6559dg

MEESI. (2010). *Programas e Fundos de Apoio à Eficiência Energética na Indústria*. <https://www.meesi.pt/enquadramento-estrategico>

METRON. (2024). *Ar comprimido na indústria: quais são as otimizações energéticas obtidas com a digitalização?* <https://www.metron.energy/pt/blog/ar-comprimido-industria/>

Nascimento, C., (2023, setembro 11). *Paraná cria lei de incentivo à Economia Circular*. Consultada: 06/09/2024. https://pt.linkedin.com/pulse/paran%C3%A1-cria-lei-de-incentivo-%C3%A0-economia-circular-carlos-renato?trk=article-ssr-frontend-pulse_more-articles_related-content-card

NECP. (2020). *Portugal National Energy and Climate Plan 2030*. https://apambiente.pt/_zdata/Alteracoes_Climaticas/Mitigacao/PNEC/PNEC_PT_Template_Final_2019_30122019.pdf

Nikolakis, N., Catti, P., Chaloulos, A., Kamp, W., Coy, M., Alexopoulos, K. (2024). A methodology to assess circular economy strategies for sustainable manufacturing using process eco-efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 445, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141289>

Panoutsou, C., Singh, A., Christensen, T., Pelkmans, L. (2020). Competitive priorities to address optimisation in biomass value chains: The case of biomass CHP. *Global*

Transitions: Vol.2. (60-75). <https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.04.001>

Passos, J. (2020). Sistemas Fotovoltaicos: Fundamentos sobre dimensionamento. ENGEBOOK

Paul, J., Criado, A. (2020). The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know?. *International Business Review*, 29(4). <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2020.101717>

Pessoa, J. (1994). A ENERGIA NAS PME INDUSTRIAIS. IAPMEI – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento.

Pocinho, M. (2012). Metodologia de Investigação e Comunicação do Conhecimento Científico. LIDEL

PORDATA. (2024, janeiro 4). Consumo de energia elétrica: total e por setor de atividade económica. Consultado: 01/02/2024. https://www.pordata.pt/sites/default/files/2024-06/Portugal_Consumo_de_energia_eletrica__total_e_por_setor_de_atividade_economica.xlsx

Portal Solar. (2024). Placa solar: modelos, onde comprar e o valor das placas solares. <https://www.portalsolar.com.br/placa-solar>

PotencializEE. (2023). Bomba de calor na prática industrial. <https://www.programa-potencializee.com.br/noticias/bomba-de-calor-na-pratica-industrial/>

Purvis B., Mao Y., Robinson D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins, (14). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11625-018-0627-5>

Rajabloo, T., De Ceuninck, W., Van Wortswinkel, L., Rezakazemi, M., & Aminabhavi, T. (2022). Environmental management of industrial decarbonization with focus on chemical sectors: A review. *Journal of Environmental Management*, 302(PB), 114055. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114055>

REN DATA HUB. (s.d.). Balanço diário. Consultado: 02/08/2024. <https://datahub.ren.pt/pt/eletricidade/balanco-diario/>

Resnitzky, M., Grander, G., Silva, L., Gonzalez, E. (2021). Innovation projects of packaging recycling to a circular economy. *Sustainable Operations and Computers*, 2, 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.05.005>

Rodríguez-Mas, F., Valiente, D., Ferrer, J., Alonso, J., Ávila, S. (2023). Towards a greener photovoltaic industry: Enhancing efficiency, environmental sustainability and manufacturing costs through solvent optimization in organic solar cells. *Heliyon*. (9). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023103070>

Sá, A. (2016). Guia de aplicações de gestão de energia e eficiência energética. ENGEBOOK

Santos, F. (2023). 6 vantagens da energia solar para empresas. GALP. <https://galp.com/pt/pt/empresas/blog/blog-post/6-vantagens-energia-solar-para-empresas>

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). Research Methods for Business Students; 8th Edition. Pearson Education.

SGCIE. (2022). Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia. <https://sgcie.pt/>

SGCIE. (2024). Incentivos e Isenções. <https://sgcie.pt/o-regulamento/incentivos-e-isencoes/>

Soares, I. (2015). Eficiência Energética e a ISO 50001. Edições Sílabo, LDA.

Teske, S., Pregger, T., Simon, S., Naegler, T., Pagenkopf, J., Deniz, Ö., van den Adel, B., Dooley, K., & Meinshausen, M. (2021). It is still possible to achieve the paris climate agreement: Regional, sectoral, and land-use pathways. *Energies*, 14(8), 1–25. <https://doi.org/10.3390/en14082103>

Voltimum. (2016). Cogeração | Tecnologias de Cogeração (4ª PARTE). <https://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/cogeracao-tecnologias-de>

Apêndice I – Análise bibliográfica das medidas de ecoeficiência na transição energética da indústria

Tabela 5 – Tabela de bibliografia anotada das medidas de ecoeficiência na transição energética da indústria

Autores	Título	Objetivos	Setor industrial	Medida aplicada	Conclusão do estudo
(Chou T, Kosmas V, Acciaro M et al., 2021)	<i>A Comeback of Wind Power in Shipping: An Economic and Operational Review on the Wind-Assisted Ship Propulsion Technology</i>	Este artigo aborda o crescimento tecnológico <i>Wind-assisted ship propulsion (WASP)</i> através de uma análise de revisão dados, em que apresenta as potenciais implicações ao nível da economia de combustível e identifica os principais fatores que ajustam a eficiência operacional desta tecnologia.	Transporte Marítimo	As tecnologias de sistemas de propulsão assistida pelo vento <i>Wind-assisted ship propulsion (WASP)</i> permite reduzir o consumo de combustível e as emissões de CO ₂ . O WASP aproveita o poder do vento para adicionar a propulsão de através da geração de forças aerodinâmicas. Uma vez que, que a energia eólica é uma fonte de energia inesgotável, gratuita e de zero emissões de CO ₂ .	Apesar do número limitado existente de instalações WASP, existe uma tendência promissora da adaptação da tecnologia na indústria. Por outro lado, permitem as empresas obterem poupanças ao nível do combustível, que variam consoante a tecnologia instalada. Uma vez que, diferente tecnologia tem características de desempenho distintas sob diferentes condições, é pouco provável que exista uma solução única que cumpra com as necessidades. Por último, é necessário realizar mais pesquisas num contexto de estudo de caso para obter uma melhor compreensão de uma série de fatores operacionais que influenciam o desempenho desta tecnologia

(Tristán A, Heuberger F, Sauer A, 2020)	<i>A Methodology to Systematically Identify and Characterize Energy Flexibility Measures in Industrial Systems</i>	Este artigo propõe uma metodologia para identificar e caracterizar as medidas de flexibilidade energética disponíveis em sistemas industriais, independentemente da tarefa que desempenham na instalação. Esta metodologia tem como base as auditorias energéticas industriais orientadas para a flexibilidade energética, em que coincide com as atuais auditorias energéticas industriais que incidem sobre a eficiência energética	Indústria	A auditoria energética industrial visa a melhorar a gestão energética industrial e identificar medidas de eficiência energética. Neste caso, é necessário informar em relação a indústria as características fiscais e operativas, tendo também em consideração em as necessidades de consumo energético sem colocar em causa a produção.	A realização de uma auditoria proporcionará às empresas industriais uma compreensão qualitativa e quantitativa das capacidades dos seus sistemas industriais e, consequentemente, das suas instalações de produção, para um funcionamento flexível do ponto de vista energético. Os resultados da auditoria facilitam a tomada de decisão da empresa para a implementação, avaliação e gestão destas capacidades. Além disto, permite que exista uma melhoria contínua dos métodos e ferramentas aplicadas na indústria, devido a evolução diária de novas estratégias que facilitam a gestão energética.
(Chicaiza C, Bouzerma M, Diéguez-Santana K et al., 2021)	<i>Carbon storage technologies applied to rethinking building construction and carbon emissions</i>	Este artigo visa analisar o impacto do carbono das fases de produção, transporte e construção de materiais. Sendo que, o foco estava em alternativas modernas que permitissem as empresas incluir	Indústria da construção	O CCS é constituído por três etapas que são as seguintes: • captura - é um processo de dissociação do CO₂ do gás de combustão ou o fluxo de processo usando métodos	Os resultados destacam a importância de intensificar os esforços para identificar e gerir as emissões de carbono e a importância de agir simultaneamente agora, implementando as medidas disponíveis (substituições de materiais, mudanças de cimento) enquanto planeia

		tecnologias de <i>Carbon Capture and Storage</i> (CCS) que pudessem ser uma alternativa confiável para o desenvolvimento económico e sustentável.		químicos, físicos ou biológicos; • transporte – é um processo de mover o CO₂ capturado para o local de armazenamento usando condutas ou navios, entre outros. • armazenamento – é um processo de injetar o CO₂ em formações geológicas profundas, como reservatórios de petróleo e gás esgotados, aquíferos salinos, onde fica retido por um longo período. Em alternativa, o CO₂ pode ser convertido em outros produtos, como combustíveis sintéticos, produtos químicos ou materiais de construção.	ativamente medidas de longo prazo (regulamentos, impostos sobre o carbono, sanções). Por fim, as indústrias têm desafios nos setores ambiental, económico e energético para avaliar seus impactos e propor projetos práticos para melhorar seu desempenho, pois há a necessidade de quantificar o efeito de grandes quantidades de matérias-primas e recursos na maioria das indústrias antes de decidir sobre as melhores práticas em conservação de energia, uso de combustíveis alternativos e uso de CCS.
--	--	---	--	--	---

(Branchini L, Bignozzi M, Ferrari B et al., 2021)	<i>Cogeneration supporting the energy transition in the Italian ceramic tile industry</i>	A produção de revestimentos cerâmicos é um processo industrial em que a eficiência energética é muito importante, devido a quantidade de energia elétrica e térmica requerida pelo ciclo produtivo. Neste caso, será apresentado resultados de um projeto de investigação destinado a definir os benefícios da utilização de sistemas de <i>combined heat and power</i> (CHP) no setor cerâmico.	Indústria da cerâmica	O CHP ou cogeração consiste numa produção simultânea de duas formas de energia a partir de uma única fonte de combustível. Estes tipos de sistemas costumam a ser usados em ambientes industriais para conservar energia, convertendo o calor residual em saída térmica utilizável para outros fins, como aquecimento de edifícios ou equipamentos de alimentação. A tecnologia <i>Spray drying</i> é um método de formação de um pó seco a partir de um líquido por secagem rápida com um gás quente. No entanto, foi elaborado um questionário mais específico sobre o uso de CHP nas indústrias cerâmicas. Os dados recolhidos em dez instalações de cogeração permitiram-nos delinear as características médias dos motores primários e quantificar a	As unidades de CHP instaladas são usadas para gerar eletricidade no local, enquanto a energia térmica descarregada com gases de exaustão é usada diretamente para alimentar o secador por pulverização, reduzindo assim o consumo de gás natural. Os resultados obtidos do estudo realizado são os motores de combustão interna costumam ser a escolha preferida, devido aos valores de eficiência de conversão mais altos na produção de eletricidade e em contraste, a turbinas a gás parecem ser a escolha preferida apenas quando o tamanho da unidade do secador por pulverização é alto e o objetivo é minimizar o consumo de entrada de gás natural para o secador. Deste modo, os resultados obtidos do estudo realizado são os motores de combustão interna costumam ser a escolha preferida, devido aos valores de eficiência de conversão mais altos na produção de eletricidade e em contraste, a turbinas a gás parecem ser a escolha
--	--	---	------------------------------	--	--

				contribuição da energia térmica de cogeração no apoio ao processo de secagem.	preferida apenas quando o tamanho da unidade do secador por pulverização é alto e o objetivo é minimizar o consumo de entrada de gás natural para o secador.
(Zou C, Xue H, Xiong B et al., 2021)	<i>Connotation, innovation and vision of “carbon neutrality”</i>	Este artigo aborda como lidar com a mudança climática global, a meta de neutralidade de carbono a ser alcançada até 2050 foi definida em todo o mundo. A neutralidade de carbono é o objetivo comum para toda a humanidade alcançar o desenvolvimento sustentável e exige que todos os países do mundo se unam para enfrentar os desafios juntos.	Indústria	Deve-se desenvolver com rigor tecnologias de energia de hidrogênio seguras, eficientes e de baixo custo e focar na promoção de inovações tecnológicas em toda a cadeia industrial de energia de hidrogênio, incluindo a produção / armazenamento / transporte / reabastecimento de hidrogênio usado em transporte, armazenamento e transmissão de hidrogênio em larga escala e distribuição de rede de dutos, e fornecimento integrado de energia de célula de combustível estacionária. Devemos fazer avanços nas tecnologias de utilização de energia solar, como geração de energia bio fotovoltaica e geração de energia solar baseada	A “ciência da neutralidade do carbono” enfoca mudanças fundamentais no contexto econômico e social, como economia internacional de energia, políticas energéticas e leis e regulamentos de energia sob o objetivo da neutralidade do carbono, e envolve importantes pesquisas teóricas em ciências sociais. A neutralidade carbônica gera novas indústrias, como a indústria do carbono, centrada na captura, utilização e armazenamento de CO2 (CCS) e a indústria do hidrogênio, centrada no hidrogênio verde. "Carbono cinzento" e "carbono negro" são os dois atributos de aplicação do CO2. "Carbono +", "Carbono -" e "Carbono =" são três produtos e tecnologias neutros em carbono.

				no espaço, ampliar ainda mais os caminhos para utilizar a energia solar.	A neutralidade carbônica é uma prática importante da revolução industrial verde, da revolução energética da redução de carbono e da revolução tecnológica ecológica.
(Kim J, Sovacool B, Bazilian M et al., 2022)	<i>Decarbonizing the iron and steel industry: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options</i>	As indústrias siderúrgicas têm se preocupado com as emissões dos seus fornos e cúpulas. Sendo, um dos setores mais emitem carbono entre as indústrias pesadas e tem sido eficientemente operado perto de seus limites termodinâmicos. Assim, para quebrar o limite, são necessários esforços inovadores de descarbonização. Este artigo desenvolve uma revisão crítica e sistemática dos sistemas sociotécnicos do ferro e do aço.	Indústria do ferro e do aço	Existem quatro grupos tecnológicos fundamentais: captura, utilização <i>Carbon Capture and Storage</i> (CCS), hidrogénio, eletrificação direta e bioenergia. O hidrogénio seria eficaz para a mitigação do CO ₂ em diversos processos de ferro e aço, tais como BF (forno de explosão), DRI (ferro de redução direta), redução de fundição e procedimentos auxiliares. A eletrólise, a biomassa e o carvão também são boas opções para a descarbonização dos processos de siderurgia.	Existem diversas tecnologias que podem serem usadas tais como na produção de aço à base de hidrogénio e tecnologias CCS. Além disto, a substituição de combustíveis fósseis por biomassa. O hidrogénio também poderia ser utilizado diretamente como um agente redutor no processo de produção de aço e, por conseguinte, tem um excelente potencial para a redução do CO ₂ . Muitos produtores de aço estão a tentar desenvolver esta opção. Isto possibilita, que exista benefícios diretos da redução das emissões de carbono, poupança de energia e poupança financeira e reduzirá o período de retorno da descarbonização.

(Viétor B, Hoppe T, Clancy J, 2015)	<i>Decentralised combined heat and power in the German Ruhr Valley; assessment of factors blocking uptake and integration</i>	Este artigo aborda a reorganização do sistema energético por parte da Alemanha que estava centralizado nos combustíveis fósseis e na energia nuclear para um sistema mais sustentável. Apesar de existir um potencial de utilizar <i>combined heat and power</i> (CHP) nas regiões onde estão localizadas as atividades de produção de energia convencional e as indústrias com utilização intensiva de energia, será analisado os fatores que bloqueiam a adoção e integração desta medida.	Atividades de produção de energia convencional e as indústrias com utilização intensiva de energia	Foi realizada uma análise das partes interessadas para identificar os pontos de vista, posições e barreiras experimentadas das partes interessadas em relação à adoção e integração da tecnologia descentralizada de CHP. A recolha de dados incluiu revisão de documentos textuais e realização de 11 entrevistas.	Os obstáculos observados prendem-se com (i) a falta de serviços de mercado, tais como meios financeiros para a realização de investimentos; (ii) sensibilização dos utilizadores, como o desconhecimento e o défice de informação sobre os benefícios da CHP descentralizada para os potenciais utilizadores, (iii) a presença de sistemas centralizados de aquecimento urbano, (iv) questões políticas como a falta de políticas suficientes de apoio à difusão de unidades de CHP descentralizadas, disposições legais das políticas de habitação social que impedem as cooperativas de habitação de se tornarem produtores de energia e sistemas de aquecimento urbano propriedade de proprietários públicos e privados (através de contratos de concessão); v) questões sectoriais, como a falta de empresas de prestação de serviços especializadas; e (vi) interesses industriais, como os interesses
--	--	---	---	--	--

					adquiridos da indústria do carvão e do gás.
(Lesourd JB, 2001)	<i>Solar photovoltaic systems: the economics of a renewable energy resource</i>	Este artigo visa analisar a possível evolução a logo prazo do investimento dos painéis fotovoltaicos, tendo em consideração ao tempo que levará a obter o retorno financeiro e a evolução do nível técnico destes equipamentos, devido a competitividade do mercado	Indústria fotovoltaica	Foi analisado alguns aspetos provenientes da economia de sistemas fotovoltaicos ligados a rede elétrica, tendo em consideração o custo da eletricidade.	No artigo é feito um estudo matemático sobre a evolução do custo da energia dos sistemas fotovoltaicos. Portanto, é previsível que o custo dos painéis será baixo com o crescimento deste mercado dentro de 5-10 anos após o lançamento do artigo.
(Gerres T, Chaves Ávila, Llamas P et al, 2018)	<i>A review of cross-sector decarbonisation potentials in the European energy intensive industry</i>	Este artigo tem como objetivo identificar as áreas /subsetores consideradas chave para redução das emissões, cumprir as metas definidas para descarbonização até 2050 e propor a introdução de novas tecnologias intersectoriais como processos de eletrólise, aplicação da produção baseadas	Indústria ferro e aço, (petro)-químicos, cimento, cerâmica, vidro, pasta e papel, alimentos e bebidas	A descarbonização requer avanços tecnológicos em dez áreas principais: recuperação de calor, fornos, CCS, biomassa e resíduos de base biológica, fornecimento de calor de processo, matéria-prima alternativa, eletrólise, calor e energia combinados (CHP), fornos industriais e separação por membrana.	Existem tecnologias padronizadas intersectoriais para aplicações de calor auxiliares e de temperatura mais baixa. As melhorias e o aumento da eletrificação dessas áreas não serão suficientes para reduzir suficientemente as emissões industriais de CO2. São necessárias tecnologias inovadoras para alcançar uma profunda descarbonização do EII.

		em hidrogênio e infraestrutura de captação/utilização de carbono.			A substituição e atualização de tecnologias de processo existentes depende da vida útil restante dos equipamentos atualmente instalados, seus custos operacionais e custos esperados para novas tecnologias. Melhorias no fornecimento, recuperação e reutilização de calor auxiliar não implicam mudanças no sistema de produção. A introdução no mercado de novas soluções comercialmente competitivas nessas áreas ocorrerá de forma incremental em um horizonte de médio prazo. A implementação em todo o setor ocorrerá em um horizonte temporal de 20 anos ou mais após a disponibilidade do mercado.
(Söderholm K, Söderholm P, 2020)	<i>Industrial Energy Transitions and the Dynamics of Innovation Systems: The Swedish Pulp and Paper Industry, 1970–2010</i>	Este artigo aborda a questão de como pode ser alcançada uma transição para um uso radicalmente menor de energia e processos de produção de carbono zero nos setores industriais. Esta transição não pode basear-se apenas em	Indústria sueca de pasta e papel	- Por exemplo, Gerhardt refere que as bombas de calor (HP) são uma tecnologia fundamental para descarbonizar o mercado da energia térmica residencial e comercial na Alemanha, enquanto a produção combinada de calor e eletricidade (PCCE) é vantajosa	- Uma vez que a CHP, neste caso de utilização, depende do gás natural, o impacto do GEF é baixo nas emissões de GEE. As bombas de calor e a conversão separada apresentam gradientes mais acentuados devido a uma percentagem mais elevada do consumo de eletricidade necessário. Os pontos de intersecção são

		tecnologias existentes e «prontas a utilizar»; exige que novas tecnologias sejam desenvolvidas, otimizadas e difundidas entre as empresas industriais. A importância de atividades conjuntas de I&D em toda a indústria, relações entre o Estado e a indústria baseadas na confiança, despesas governamentais em I&D e partilha intensa de informações. Uma implicação importante é que o papel da política vai além do financiamento da I&D.		para processos industriais que necessitam de temperaturas e vapor elevados. - Considerando que as bombas de calor como opção para a produção combinada de calor e frio são uma opção tecnicamente viável atualmente discutida. - Uma medida comum para diminuir os custos energéticos e aumentar a eficiência energética é a aplicação da CHP para motores a gás para o fornecimento de calor. - As bombas de calor podem ser utilizadas com uma vasta seleção de fluidos refrigerantes. Típico na indústria de laticínios é o uso de amônia para chillers de compressão que também podem ser aplicados em um processo de compressão aberta de dois estágios como bombas de calor.	os pontos de cruzamento de tecnologia no que diz respeito às emissões de GEE. Nos sistemas energéticos com um GEF inferior a 545 gCO₂/kWh, as bombas de calor resultam em menos emissões do que a conversão separada. Se as emissões da rede forem inferiores a 380 gCO₂/kWh, as bombas de calor são preferíveis à CHP. O gradiente acentuado para as emissões de GEE dos HPs é uma vantagem. À medida que mais energia renovável é adicionada às redes nacionais durante o período de transição energética, as emissões de HP diminuem drasticamente devido ao rápido declínio do GEF. As bombas de calor para processos industriais de calor estão, por conseguinte, a melhorar positivamente a cadeia de abastecimento de conversão de energia quando se considera a transição energética atual e futura. - A avaliação do GCC mostra que aproximadamente um terço do combustível pode ser substituído por
--	--	---	--	---	--

					eletricidade. Toda a procura de água quente pode ser gerada através da unidade de cogeração e o vapor pode ser parcialmente substituído. A quantidade de substituição de vapor depende do potencial térmico do escape. A unidade CHP é intencionalmente dimensionada para maximizar a eficiência, o que significa que, para este caso, é necessário vapor adicional de uma caldeira.
(Philipp Schumm, M, G, Peesel R et al., 2018)	<i>Optimal energy supply structures for industrial food processing sites in different countries considering energy transitions</i>	O objetivo deste artigo é investigar como a estrutura ideal de fornecimento de energia para instalações industriais individuais, com base nas emissões de GEE e no consumo de energia primária, varia entre os países em 2015, 2020 e 2030. A solução ideal de estrutura de fornecimento de energia depende dos recursos naturais disponíveis de um país, dos fatores de energia primária e dos fatores de emissões da rede elétrica, que determinam a	Indústria de processamento de alimentos	-A I&D básica e aplicada, nomeadamente várias instalações piloto e de demonstração para a substituição de petróleo, constituíram ingredientes-chave desta política centrada na indústria, por exemplo, o desenvolvimento e instalação de novos processos poderia ser subsidiado em até 50 por cento. - Muito do conhecimento básico necessário para gerar energia a partir da queima de produtos orgânicos residuais internos (ou seja, licor negro, casca) e através	Este artigo fornece uma perspetiva do sistema de inovação do desenvolvimento de tecnologias de processo limpas e energeticamente eficientes na indústria sueca de papel e celulose durante um período de quatro décadas. A análise incidiu sobre a importância do desenvolvimento do conhecimento, das redes de intervenientes e das instituições (incluindo a intervenção política) para o desenvolvimento e a difusão de tecnologias limpas e eficientes do ponto de vista energético neste sector. Além disso, verificou-se que mudanças significativas no sistema de inovação

		eficiência e o custo ambiental para fornecer energia final utilizável. Desta forma, os conjuntos de dados nacionais sobre energia e emissões para o presente e o futuro projetado estão ligados aos dados das instalações industriais, para modelar toda a cadeia de fornecimento de energia, desde a matéria-prima até à energia refinada, juntamente com as suas emissões associadas.		da geração de energia de turbinas de contrapressão, tinha sido estabelecido antes da primeira crise do petróleo, mas a disparada dos preços do petróleo e os subsídios governamentais para projetos-piloto e demonstração aumentaram os incentivos para explorar ainda mais essas opções. No entanto, outros projetos-piloto envolveram uma recuperação de calor mais eficiente e tecnologias melhoradas de prensagem e secagem.	sectorial influenciaram as atividades de I&D e demonstração relevantes, nomeadamente através de um enfraquecimento dos institutos de investigação, como o STFI, que se dedicavam tanto à I&D básica como aplicada, mas também ajudavam a estimular a transferência de conhecimentos na indústria.
(Philipp M, Schumm G, Peesel R et al, 2016)	<i>Optimal energy supply structures for industrial sites in different countries considering energy transitions: A cheese factory case study</i>	O presente estudo centra-se na análise da estrutura de fornecimento de energia de utilidade pública mais eficiente em termos de eficiência energética primária, emissões de carbono e custos energéticos.	Indústria de laticínios	- Cada setor industrial e local individual tem seu perfil característico de demanda de energia de vapor, calor de processo, água gelada, água de resfriamento e outras utilidades, que a estrutura de fornecimento de energia precisa atender convertendo recursos naturais em tais utilidades. Os impactos da estrutura de aprovisionamento nos	- O desenvolvimento de estruturas de fornecimento de energia otimizadas para o estudo de caso da fábrica de queijo analisou o impacto da sua localização física (Alemanha, Noruega, França e EUA) e como a transição energética em curso (2015, 2020 e 2030) afeta a otimização. Como esperado, as bombas de calor têm uma grande vantagem se o sistema elétrico de um país tiver um baixo GEF e alta eficiência. Uma vez que

				custos e no ambiente dependem em grande medida da fonte de energia e dos serviços públicos utilizados (ou seja, produção combinada de calor e eletricidade - CHP, bomba de calor - HP, caldeira a vapor). - A base de dados GEMIS fornece energia primária e fatores de emissão para o gás natural e a eletricidade. Os valores para o gás natural são constantes para todos os países e cenários futuros. Considerando que os fatores relativos à eletricidade são altamente dependentes de cada país, devido a diferenças significativas na quota de energias renováveis, energia nuclear, centrais a gás e a petróleo.	a eficiência energética primária das energias renováveis é superior à da energia nuclear, a HP na Noruega lidera em todas as categorias. Em França, os HP podem reduzir significativamente as emissões de CO₂, mas têm um impacto negativo na eficiência energética primária. Nos EUA e na Alemanha, a CHP é preferível em todas as categorias, uma vez que têm baixa eficiência energética primária e elevados GEF. Espera-se que, até 2030, os HP, que atualmente são desfavoráveis, se tornem competitivos em termos de custos e sejam a melhor tecnologia em termos de emissões de GEE para uma fábrica de queijo na Alemanha. - Foi construída uma ferramenta de folha de cálculo para analisar e otimizar as estruturas de fornecimento de energia para locais individuais. Esta análise ao nível do local destina-se a fazer parte de muitas melhorias ao longo de toda a cadeia de fornecimento de energia. Um estudo de caso de uma fábrica de queijo
--	--	--	--	---	---

					mostra que a localização do local e a visão de longo prazo da composição dos sistemas energéticos nacionais afeta grandemente o desempenho e a preferência de implementação de diferentes tecnologias de fornecimento de energia, como a produção combinada de calor e eletricidade, caldeiras a vapor e bombas de calor.
(Lipiäinen S, Kuparinen K, Sermyagina E et al., 2022)	<i>Pulp and paper industry in energy transition: Towards energy-efficient and low carbon operation in Finland and Sweden</i>	Este estudo visa uma compreensão mais profunda do desenvolvimento do consumo de energia, produção de energia e emissões de CO2 nos PPIs finlandeses e suecos nos últimos 20 anos, analisando as tendências energéticas. Os dados estatísticos mostram as mudanças absolutas, mas não explicam as razões que lhes estão subjacentes. Este estudo utiliza a análise de decomposição energética e o método do índice de eficiência energética para melhorar a	Indústria da pasta e do papel	- O desenvolvimento de tecnologias de produção de eletricidade, comutação de combustível e energia utilizada são investigados neste estudo. As caldeiras de recuperação são, a nível mundial, os mais importantes utilizadores de biomassa para a produção de energia (Kuparinen et al., 2019) e os principais dispositivos de conversão de energia em PPI finlandeses e suecos, pelo que o seu desenvolvimento é considerado em pormenor.	- A descarbonização avançada do PPI requer a troca de combustível, além da melhoria da eficiência energética. Muitas usinas finlandesas e suecas não precisam de combustíveis fósseis durante a operação normal, e, portanto, a operação livre de fósseis é tecnicamente viável. Os resultados sugerem que no uso de combustíveis fósseis acompanhou de perto os preços da energia. Os impostos sobre a energia podem ser um motor importante para a mudança de combustível, mas os governos devem estar cientes de que uma descarbonização demasiado ambiciosa pode forçar as empresas a transferir a sua

		compreensão das mudanças no consumo de energia. A consciência das mudanças na produção de energia é melhorada através da análise do desenvolvimento das tecnologias de geração de energia utilizadas, principalmente caldeiras de recuperação. Além disso, as políticas energética e climática enquanto principais motores de mudança estão inclusos na análise.		- O método do índice de eficiência energética é menos aplicável para analisar o uso de energia primária. Normalmente, há problemas com a qualidade dos dados e, por exemplo, os fatores de conversão de energia específicos do moinho são desconhecidos. Além disso, o método utilizado considera apenas a energia de entrada e, portanto, as usinas com excesso de energia têm um menor índice de eficiência energética primária. A energia produzida deveria ser considerada, mas não foi possível devido à falta de dados.	produção para países com custos de produção mais baixos, o que pode levar à fuga de carbono e a um aumento das emissões globais de CO₂. A Finlândia e a Suécia mantiveram a sua posição de importantes produtores de pasta de papel e de papel, apesar da pesada tributação. O PPI tem o potencial de produzir quantidades significativas de eletricidade verde. Os resultados fornecem evidências de que as políticas nacionais de energia renovável podem produzir um aumento na produção e no consumo industrial de energia renovável. O sistema de certificados de eletricidade verde, juntamente com o aumento dos preços da eletricidade, desempenhou um papel importante no aumento da produção de eletricidade nas fábricas suecas. - Assim, o portfólio de ferramentas da PPI para combater as mudanças climáticas é grande: melhoria da eficiência energética, troca de combustível, produção de energia verde,
--	--	---	--	--	--

					biocombustíveis e biomateriais, bem como captura de carbono.
(Bergquist A, Söderholm K, 2016)	<i>Sustainable energy transition: the case of the Swedish pulp and paper industry 1973–1990</i>	Especificamente, no artigo (i) investigamos como as estratégias de curto e longo prazo do PPI para mudar a matriz energética foram organizadas e realizadas no período de 1973-1990; (ii) analisar a relação entre a política energética nacional, por um lado, e as estratégias e realizações do PPI, por outro, na alteração do cabaz energético; (iii) explorar as relações entre as estratégias iniciadas pela indústria e pelas autoridades públicas, respetivamente, para superar os desafios paralelos em matéria de energia e ambiente no PPI; e (iv) discutir que lições gerais podem ser aprendidas com este caso histórico para os	Indústria da pasta e do papel	- O desenvolvimento de conhecimentos envolveu projetos de desenvolvimento em várias fases, desde a garantia de que todos os instrumentos e processos funcionavam de forma otimizada até à melhoria e desenvolvimento de novas tecnologias com o objetivo de aumentar a poupança de energia. Por sua vez, a alteração do cabaz energético gerou uma preocupação com uma melhor utilização das matérias-primas e com a eficiência energética, em que o potencial de melhoria se revelou abrangente. A relação entre o aumento da eficiência energética e a eliminação paralela de resíduos (casca e papel) e emissões (por exemplo, CO ₂ ,	- A colaboração entre toda a indústria e a indústria estatal e o intercâmbio de informações relacionadas impulsionaram a transição energética do PPI sueco em vários níveis, desde a I&D até a política energética propositada e uma oportunidade para as usinas avaliarem seu uso de energia. É justo concluir que o impacto combinado foi importante. Sem esta política, a transição teria sido mais prolongada e a substituição dos biocombustíveis pelo petróleo menos profunda, mais dispendiosa e mais lenta. Através dos subsídios à I&D, o governo central coordenava a produção de conhecimento. Além disso, os impostos e taxas sobre a energia desempenharam um papel importante na política energética sueca das décadas de 1970 e

		esforços contemporâneos empreendidos por decisores políticos e representantes da indústria para aumentar a eficiência energética e eliminar gradualmente as energias não renováveis.		substâncias orgânicas e cloro elementar) ilustra a relação dinâmica entre os desafios energéticos e ambientais. Assim, ao eliminar progressivamente o petróleo, o PPI reduziu consideravelmente as suas emissões de CO2 mesmo antes de as preocupações com as alterações climáticas terem sido colocadas na agenda global.	1980. Assim, em muitos aspetos, o caso sueco ilustra o papel central e a capacidade dos governos centrais de empurrar as indústrias para novos caminhos tecnológicos através de uma ampla gama de instrumentos políticos interativos. E, em relação à política energética da Suécia e da UE de hoje – que muitas vezes exige que o Estado central assuma um papel mais ativo para o desenvolvimento do conhecimento e a construção de redes – a maior parte do enquadramento institucional está, em muitos aspetos, ainda em uso, e nenhum outro ator além do governo central tem o poder legítimo de governar a sociedade através dos diferentes desafios políticos. De facto, é provável que não exista outro interveniente igualmente adequado para coordenar a produção de conhecimento em colaboração entre atores públicos e privados a diferentes níveis da sociedade.
--	--	---	--	---	--

(Han D, Li T, Feng S et al., 2020)	<i>Does renewable energy consumption successfully promote the green transformation of China's industry?</i>	Devido a um padrão de crescimento econômico extensivo de longo prazo, a alocação de recursos regionais desvia-se do ideal, especialmente a existência de má alocação de energia, o que dificulta a maximização da produção econômica. Este artigo tem como objetivo verificar caso exista uma promoção na transição energética, será capaz de um desenvolvimento sustentável nas condições reais da China	Indústria	Com base nos dados de painel de 30 regiões da China de 2009 a 2016, este artigo constrói um modelo de limiar a partir da perspectiva da má alocação de energia regional e testa empiricamente o mecanismo não linear de consumo de energia renovável para promover a transformação verde industrial.	Os resultados mostram que a eficiência de alocação de energia da China é baixa, há um certo fenômeno de alocação incorreta e o efeito de melhoria nos últimos anos não é satisfatório. Além disso, a relação entre o consumo de energias renováveis e a transformação industrial ecológica não é uma simples relação linear, mas um efeito de duplo limiar devido à má afetação energética a nível regional. Em áreas com grave má alocação de energia, o consumo de energia renovável não tem um impulso significativo para a transformação verde industrial. Finalmente, este artigo propõe o esclarecimento da política de promover a transformação verde industrial a partir dos aspetos de avaliação de desempenho, reforma de mercado e fluxo de fatores.
(Wang P, Ryberg M, Yang Y et al, 2021)	<i>Efficiency stagnation in global steel production urges joint supply- and demand-side mitigation efforts</i>	A produção de aço é um setor difícil de mitigar que desafia os compromissos de mitigação climática. Este artigo visa os esforços para a descarbonização futura podem beneficiar da	Indústria do aço	A emissão de gases de efeito estufa da produção global de aço no século passado (1900-2015), combinando análise de fluxo de material e avaliação do ciclo de vida.	Evidências históricas da indústria siderúrgica mostram que os esforços regionais de melhoria da eficiência dos processos não foram capazes de acompanhar o crescimento do fluxo de produção, levando a um aumento líquido

		compreensão do seu progresso até à data. Para alcançar os objetivos climáticos de Paris, há uma necessidade urgente de implementar rapidamente medidas conjuntas de mitigação do lado da oferta e da procura em todo o mundo, tendo em conta as condições regionais.		As estratégias de descarbonização da indústria siderúrgica centraram-se principalmente na melhoria da eficiência da produção, incluindo medidas de eficiência energética, inovação em tecnologias de produção e mudança de combustível.	de 17 vezes nas emissões anuais de GEE durante o período estudado. Além disso, verificamos também que a intensidade das emissões de gases com efeito de estufa da produção de aço à escala mundial estagnou nas últimas décadas. Assim, recomenda-se que os principais países e produtores de aço esclareçam e desenvolvam roteiros para a descarbonização do aço que combinem medidas do lado da oferta e do lado da procura para travar a estagnação e aumentar ainda mais a eficiência do processo, bem como reduzir o crescimento da procura de aço para poder reduzir suficientemente as emissões de gases com efeito de estufa à escala mundial.
(Wei M, McMillan C, de la Rue du Can S, 2019)	<i>Electrification of Industry: Potential, Challenges and Outlook</i>	A indústria é um dos setores mais difíceis de descarbonizar. Com a rápida queda do custo da energia solar fotovoltaica, eólica e armazenamento de baterias, a eletrificação da indústria, juntamente com o fornecimento	Indústria	A mudança de combustível na indústria do aquecimento de processo baseado em combustíveis fósseis para o calor eletrificado pode oferecer muitos benefícios de produto e produtividade, mas os custos operacionais em geral são	A eletrificação indireta, ou seja, a produção de hidrogénio por eletrólise da água, é outra tecnologia complementar dependente da eletricidade. O hidrogénio pode ser utilizado como vetor de energia, matéria-prima industrial para produtos e combustíveis, ou para armazenamento

		de eletricidade renovável, tem o potencial de ser um caminho fundamental para alcançar a descarbonização da indústria. Este artigo resume as pesquisas mais recentes sobre a possibilidade de eletrificação do setor industrial.		muito mais elevados do que o aquecimento baseado em combustíveis fósseis. São necessários custos muito mais baixos de eletricidade e armazenamento de energia e/ou novas aplicações de tecnologia elétrica competitivas em termos de custos para permitir uma maior eletrificação da indústria	de energia de longa duração, pelo que também pode desempenhar um papel fundamental na descarbonização da indústria quando o hidrogénio é produzido a partir de eletricidade sem emissões de carbono e/ou com captura e armazenamento de carbono. Tal como acontece com a eletrificação direta, o custo é a principal barreira para a implantação de recursos de hidrogénio.
(Urbano E, Martinez-Viol V, Kampouropoulos K et al., 2021)	<i>Energy equipment sizing and operation optimisation for prosumer industrial SMEs – A lifetime approach</i>	O mercado procura soluções para reduzir as emissões no setor energético, aumentando a eficiência e a flexibilidade dos consumidores e integrando as fontes renováveis. Os produtores-consumidores estão aptos a desempenhar esta função e são cada vez mais considerados cruciais para qualquer solução deste tipo. As pequenas e médias empresas (PME) que necessitam de modernizar as suas infraestruturas energéticas, devido à obsolescência dos	Indústria	Os perfis energético e económico das PME são analisados e as suas infraestruturas energéticas modeladas de forma a definir o problema de dimensionamento e otimização da operação. A operação do equipamento é otimizada considerando ciclos semanais ao longo de vários anos, obtendo o valor presente líquido do investimento. A metodologia proposta, que utiliza técnicas de pesquisa direta e de programação linear, permite às PME industriais empreender ações informadas de	Para verificar a adequação das PME industriais para fazer parte desta mudança, foi modelizada matematicamente uma infraestrutura energética característica das PME e foi realizada uma otimização do dimensionamento e da operação. O problema da otimização foi resolvido através de uma abordagem global em duas fases, empregando os algoritmos <i>Direct Search e Linear Programming</i> , que é uma estratégia adaptada das características do problema estudado. Os resultados mostram a viabilidade económica da instalação de novos

		equipamentos ou a pressões externas para adotar tecnologias mais ecológicas, enfrentam dificuldades na integração de novas estratégias de gestão da energia, tendo em conta o investimento necessário e os períodos de amortização		investimento no sector da energia. Uma fábrica real é descrita, caracterizada e usada como base para um estudo de caso.	equipamentos energéticos nas PME, obtendo períodos de amortização inferiores a cinco anos e um valor de investimento final superior a dez vezes a despesa inicial.
(He J, Wu X, Li J et al., 2021)	<i>Multi-energy conversion based on game theory in the industrial interconnection</i>	O <i>multi-energy conversion system</i> (MCS) desempenha um papel importante na melhoria da utilização dos recursos energéticos e na realização da transição energética. Com a aplicação da nova geração de tecnologias de informação, o novo MCS pode realizar interação de informação em tempo real, colaboração multi energia e resposta à demanda em tempo real, na qual os fornecedores de energia podem motivar de forma inteligente o comportamento de uso de energia dos consumidores. Neste	Indústria	A simulação foi realizada com um algoritmo de projeção de gradiente e os resultados mostram que o MCS proposto melhora a eficiência de utilização de energia através da conversão de energia, garantindo a satisfação do consumidor, e beneficia tanto os clientes como os fornecedores ao reduzir o custo de consumo de energia e a demanda de carga de pico, o que efetivamente melhora a qualidade da oferta e enriquece os padrões de consumo de energia.	Por fim, são realizadas simulações para avaliar o desempenho do algoritmo. Isto demonstra que um sistema energético com uma empresa de energia e dez consumidores melhora a eficiência da conversão de energia através da plataforma na nuvem e torna as redes de eletricidade, gás e calor mais estáveis. O custo das empresas de energia e dos consumidores também diminui após a implementação da plataforma em nuvem, levando ao desenvolvimento de novos negócios com mais lucro.

		artigo, um MCS acoplado a uma plataforma em nuvem é proposto para abordar problemas de explosão de informações e segurança de dados. Devido ao desenvolvimento da tecnologia da Internet, ao aumento dos dados de energia e ao sério acoplamento de energia, é difícil para os métodos tradicionais de otimização lidar com a interação entre os participantes do MCS.			
(Kleijn R, Van Der Voet E, 2010)	<i>Resource constraints in a hydrogen economy based on renewable energy sources: An exploration</i>	A fim de combater as alterações climáticas, é crucial a transição para um sistema energético baseado em energias renováveis. Uma economia de hidrogénio baseada em energias renováveis é uma das possíveis implementações de tal sistema. O mundo recebe ampla energia do sol que pode ser captada por células solares fotovoltaicas e, indiretamente, por turbinas eólicas.	Indústria do aço e do cobre	Muitas das tecnologias energéticas mais recentes e mais eficientes em termos de custos utilizam recursos escassos e, embora possam desempenhar um papel importante no processo de transição, não podem ser ampliadas ao nível necessário para uma transição completa. Na maioria dos casos, no entanto, estão disponíveis outras tecnologias que utilizam materiais mais abundantes, seja muitas vezes a um custo de	Neste estudo, demonstrámos que a escolha da tecnologia tem uma forte influência sobre os recursos materiais que são necessários num sistema deste tipo. Em três partes cruciais do sistema, descrevemos o uso de materiais relativamente escassos como rolhas de exibição para tecnologias específicas: elementos raros em células solares de película fina atuais, neodímio em turbinas eólicas de ímã permanente de acionamento direto e eletromotores, e platina em eletrólise e células de

				eficiência. A questão não é apenas com recursos escassos. O tamanho da transição energética também desafiará a capacidade industrial para a mineração e produção de materiais a granel, como aço e cobre.	combustível. Restrições de recursos impedir que estas tecnologias aumentem para um nível que seria necessário para uma transição substancial para uma economia de hidrogénio baseada em energias renováveis. Por conseguinte, para uma conversão mundial em energias renováveis, devem ser escolhidas e/ou desenvolvidas diferentes tecnologias que não dependam destes materiais escassos. Muitas destas tecnologias estão disponíveis, seja por vezes à custa da eficiência e/ou da economia.
(Zhang F, 2013)	<i>The energy transition of the transition economies: An empirical analysis</i>	Este estudo revela uma forte evidência de convergência: os países menos eficientes melhoraram mais rapidamente e a variação entre países na produtividade energética diminuiu ao longo do tempo. Uma análise de decomposição do índice indica que as intensidades energéticas diminuíram em grande medida	Indústrias intensamente energéticas	Se todos os países adotarem tecnologias de boas práticas, o potencial de economia de energia é estimado em 50% do uso atual de energia nos setores intensivos em energia (ferro e aço, cimento e celulose e papel) e 10 a 20% em todos os setores. Dada a idade avançada de muitas infraestruturas industriais da região, é provável que a atualização para tecnologias	No entanto, este artigo investiga as fontes e mecanismos de mudança de intensidade energética no sector produtivo da Europa Oriental e da Ásia Central (ECA) entre 1998 e 2008. Os preços mais elevados da energia reduzem a intensidade energética estimulando a adoção de tecnologias economizadoras de energia — especialmente em sectores onde a energia representa uma parte

		devido a uma utilização mais eficiente da energia, em vez de mudanças de atividades de fabrico com utilização intensiva de energia para atividades de fabrico menos intensivas. O crescimento dos rendimentos e os aumentos dos preços dos produtos energéticos foram os principais motores da convergência. Eles dominaram o impacto do comércio, o que levou à especialização em indústrias intensivas em energia.		de eficiência energética seja rentável se realizada como parte do ciclo natural de substituição de plantas e oferece uma excelente oportunidade para obter economia de energia e reduções de emissões associadas em o curto a médio prazo.	significativa dos seus custos totais. Estes esforços incluem a introdução de máquinas, processos de produção ou materiais com maior eficiência energética. Os resultados empíricos deste artigo proporcionam várias implicações políticas para melhorar ainda mais a eficiência energética na região: em primeiro lugar, uma estratégia óbvia para melhorar a produtividade energética é direcionar os esforços de eficiência energética para as indústrias energeticamente eficientes, o elevado consumo total de energia e o elevado crescimento económico. É provável que as indústrias em rápido crescimento tenham menos restrições de capital e estejam mais recetivas aos esforços para melhorar a sua vantagem competitiva, aumentando a gestão dos custos energéticos.
--	--	---	--	---	--