



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

João André Monteiro Matias

**CARACTERIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA E AS
PRINCIPAIS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA NA CERÂMICA**

**Dissertação no âmbito do Mestrado de Energia para a
Sustentabilidade orientada pelo Professor Doutor José Manuel
Baranda Moreira da Silva Ribeiro e Baio Dias submetida à
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de
Coimbra**

Setembro de 2023

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

CARACTERIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA E AS PRINCIPAIS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA CERÂMICA

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Energia para a Sustentabilidade com especialização em Sistemas de Energia e Políticas Energéticas

CHARACTERIZATION OF ENERGY USE AND THE MAIN ENERGY EFFICIENCY MEASURES IN CERAMICS

Autor

João André Monteiro Matias

Orientador

**José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro
Baio Dias**

Júri

Presidente	Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes
Orientador	Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro
Vogal	Professor Doutor João Pedro da Silva Pereira

Colaboração Institucional



Centro Tecnológico da
Cerâmica e do Vidro

Engenheiro^o
Baio dias

Engenheiro^o Pedro
Cardoso

Coimbra, setembro, 2023

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro por todo o tempo disponibilizado à realização desta tese.

Um agradecimento especial ao Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, mais concretamente ao Engenheiro Baio Dias e ao Engenheiro Pedro Cardoso por toda ajuda e informação disponibilizada.

Aos meus pais e irmão, por criarem um ambiente propício ao sucesso escolar e profissional. Aos amigos e familiares por todas as considerações construtivas.

RESUMO

Ao longo dos últimos anos têm-se dado uma ênfase especial às alterações climáticas e ao aquecimento global, por isso tem existido diversos investimentos em tecnologias para o aumento da eficiência energética na indústria, porém as soluções neste setor cada vez são menores visto muitas delas já terem sido implementadas.

Nos últimos anos o consumo de energia tem sido mais racionalizado, muito devido às taxas e coimas que são impostas quando esta racionalização não acontece.

A indústria cerâmica é um subsetor da indústria onde estão presentes os maiores consumidores de energia, os gastos com energia térmica correspondem a uma das maiores parcelas do custo energético deste subsetor. Na esmagadora maioria dos casos, atualmente, essa energia térmica é produzida localmente com recurso a gás natural.

Neste trabalho foi desenvolvida uma base de dados que colige as informações mais relevantes das auditorias energéticas realizadas ao longo dos últimos 7 anos a empresas cerâmicas no âmbito do SGCIE. Essas informações incluem o consumo agregado, e desagregado – por vetor energético- de energia, as emissões, indicadores de performance energética e as medidas de eficiência aí recomendadas, incluindo as poupanças previstas, o investimento estimado e o período de retorno de investimento.

Esta base de dados identifica os produtos que apresentam um maior consumo específico de energia, os que produzem mais gases de efeito de estufa, e os que apresentam maiores vendas.

No final são apresentadas as novas tecnologias alternativas à utilização de combustíveis fósseis na produção de energia térmica.

Palavras-chave: Eficiência energética, Gases de Efeito de Estufa, Auditorias energéticas, Tecnologia

ABSTRACT

Along the last years have been given one special emphasis to climate changes and to global warming, that is why there have been several investments in technologies to increase energy efficiency in industry, but there fewer and fewer solutions in this sector, as many of them have already been implemented.

In the last years the consume of energy have been rationalized, the biggest factor is the high taxes and penalties applied to the companies that don't rationalize the energy that consume.

The ceramic industry is a subsector of the industry where are present the biggest energy consumers, the expenses with thermal energy correspond to the biggest portion of energy cost of this subsector. In major cases the thermal energy is produced locally with resource of natural gas.

All major energy-consuming facilities are covered by energy audits, so that consumption can be rationalized, and targets set to reduce consumption, and dependence of fossil fuels.

In this work was developed a data base that collects the most relevant information about energy audits realized over the last 7 years to ceramic industries in the scope of SGCIE. That information includes: aggregate consume and disaggregate – by energy vector- of energy, emissions, about ceramic industry, such as energy consumption, emissions, energy performance indicators and the efficiency measures, including expected savings, the expect investment and investment payback period. This data base identified the products that present a bigger specific consume of energy, those who produce more greenhouse gases, and that represent the biggest sales.

In the final are presented the new alternatives technologies to the use of fossil fuels in production of thermal energy.

Keywords: Energy efficiency, Green House Gas Emissions, Energy Audits, Technology

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract.....	v
Índice	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	x
Siglas	11
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e Motivação	1
1.2. Objetivos e Plano de trabalho	13
2. Estado de Arte	15
2.1. Produção de Cerâmica	15
2.1.1. Cerâmica de Construção	16
2.1.2. Cerâmica Utilitária e Decorativa	17
2.1.3. Cerâmica Técnica	18
2.2. Indústria Cerâmica em Portugal.....	18
2.3. Processos industriais	19
2.3.1. Extração de argilas.....	20
2.3.2. Conformação	20
2.3.3. Atomização	22
2.3.4. Secagem.....	22
2.3.5. Cozedura.....	23
2.3.6. Vidragem	24
2.3.7. Escolha, embalamento e armazenamento	25
3. Legislação, Normas e Auditorias Energéticas	27
3.1. Legislação	27
3.1.1. Decreto-Lei nº71/2008 (SGCIE)	27
3.1.2. Decreto-Lei nº 68A/2015.....	30
3.2. Sistemas de Gestão de Energia	31
3.2.1. Norma ISO 50001.....	31
3.3. Auditorias Energéticas	34
3.3.1. Metodologia.....	34
3.3.2. Aparelhos de medida	36
3.3.3. Indicadores Energéticos.....	41
3.3.4. Cálculo do Valor Acrescentado Bruto (VAB).....	42

3.3.5. Relatório de Execução e Progresso	43
4. Análise da Auditoria.....	45
4.1. Análise dos resultados	47
4.2. Indicadores Energéticos.....	50
5. Medidas de Economia de Energia.....	53
5.1. Cozedura.....	55
5.1.1. Fuga num forno contínuo	55
5.1.2. Reaproveitamento do calor.....	56
5.1.3. Método para melhorar a eficiência do processo térmico.....	56
5.2. Isolamento nas condutas de água quente.....	57
5.3. Atomização	57
5.4. Processos transversais na indústria.....	58
5.4.1. Energia reativa.....	58
5.4.2. Motores elétricos	59
5.4.3. Iluminação	61
5.4.4. Fugas de ar comprimido	62
5.4.5. Monitorização de energia	63
6. Novas tecnologias para a descarbonização da indústria.....	65
6.1. Forno com injeção de hidrogénio	65
6.2. Fornos elétricos.....	67
6.2.1. Fornos de resistência	67
6.2.2. Fornos micro-ondas.....	68
7. Principais obstáculos e vantagens de Portugal em relação à descarbonização	69
8. Conclusões	72
8.1. Trabalho futuro	73
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
[ANEXO A]	Erro! Marcador não definido.
[ANEXO B].....	Erro! Marcador não definido.

Índice de Figuras

FIGURA 1.1. EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE 2016 A 2019 [15]	6
FIGURA 1.2- EMISSÕES DE GEE EM 2020 [16]	7
FIGURA 1.3- EMISSÕES DE CO2 NA INDÚSTRIA CERÂMICA[17]	8
FIGURA 1.4- EVOLUÇÃO DO CONSUMO FINAL BRUTO DE ENERGIA EM PORTUGAL [18]	9
FIGURA 1.5- CONSUMO ENERGÉTICO FINAL NA INDÚSTRIA [18]	10
FIGURA 2.1-SUBSETORES DA INDÚSTRIA CERÂMICA	15
FIGURA 2.2- TIJOLO[29].....	16
FIGURA 2.3- TELHA[30].....	16
FIGURA 2.4- ABOBADILHA[31].....	16
FIGURA 2.5- LOUÇA SANITÁRIA [32].....	17
FIGURA 2.6- PAVIMENTO [33]	17
FIGURA 2.7- CERÂMICA UTILITÁRIA E DECORATIVA[35]	17
FIGURA 2.8- CONDENSADOR CERÂMICO[36].....	18
FIGURA 2.9- ISOLADOR DE ALTA TENSÃO[37]	18
FIGURA 2.10- PRODUTOS VENDIDOS (€) DA INDÚSTRIA POR TIPO [39]	19
FIGURA 2.11- EXTRAÇÃO DE ARGILAS[40].....	20
FIGURA 2.12- SALA DE CONFORMAÇÃO[41]	21
FIGURA 2.13- PROCESSO DE ATOMIZAÇÃO[42]	22
FIGURA 2.14- TRANSPORTADOR AÉREO COM SECAGEM[41]	23
FIGURA 2.15- (A) FORNO INTERMITENTE; (B) FORNO TÚNEL [43], [44]	24
FIGURA 2.16- VIDRAGEM[41]	24
FIGURA 2.17- EXEMPLO DE EMBALAMENTO[45]	25
FIGURA 3.1- ESQUEMA SGCIE[48]	30
FIGURA 3.2- CERTIFICAÇÃO ISO 50001.....	32
FIGURA 3.3- CRONOGRAMA DO ISO 50001	33
FIGURA 3.4- CÂMARA TERMOGRÁFICA.....	37
FIGURA 3.5- IMAGEM TERMOGRÁFICA DAS CONDUTAS DE ÁGUAS SANITÁRIAS[41]	37
FIGURA 3.6-ANALISADOR DE ENERGIA.....	38
FIGURA 3.7- DIAGRAMA DE CARGA[41]	38
FIGURA 3.8- MULTÍMETRO DIGITAL	39
FIGURA 3.9- PINÇA AMPERIMÉTRICA.....	39
FIGURA 3.10- ANALISADOR DE GASES.....	40
FIGURA 3.12- DETETOR DE FUGAS DE AR COMPRIMIDO	40
FIGURA 3.13- FUGA DE AR COMPRIMIDO[41]	41
FIGURA 4.1- CONSUMO E CUSTOS ENERGÉTICOS[41]	45
FIGURA 4.2- VARIAÇÃO DO CONSUMO MENSAL EM FUNÇÃO DA PRODUÇÃO[41]	46
FIGURA 4.3- DESAGREGAÇÃO DE CONSUMO DE GÁS NATURAL PELOS PRINCIPAIS PROCESSOS[41]	46
FIGURA 4.4- NÚMERO DE AUDITORIAS POR ANO	48
FIGURA 4.5- NÚMERO DE EMPRESAS POR DISTRITO	48
FIGURA 4.6- NÚMERO DE EMPREGADOS POR DISTRITO	49
FIGURA 4.7- VOLUME DE NEGÓCIOS POR DISTRITO	49
FIGURA 4.8- CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA PRIMÁRIA POR TIPO DE PRODUTO	50
FIGURA 4.9- INTENSIDADE ENERGÉTICA POR TIPO DE PRODUTO	51

FIGURA 4.10- RELAÇÃO ENTRE CONSUMO ESPECÍFICO E INTENSIDADE ENERGÉTICA.....	51
FIGURA 4.11- INTENSIDADE CARBÓNICA POR TIPO DE PRODUTO	52
FIGURA 5.1- MEDIDAS MAIS COMUNS NA INDÚSTRIA CERÂMICA	54
FIGURA 5.2 - RESUMO DAS MEDIDAS	54
FIGURA 5.3-FUGA NO FORNO CONTÍNUO[41].....	56
FIGURA 5.4-CONDUTAS DE ÁGUA QUENTE SEM ISOLAMENTO[41]	57
FIGURA 5.5- FUGA DE CALOR NUM ATOMIZADOR[41]	58
FIGURA 5.6- TRIÂNGULO DAS POTÊNCIAS[53].....	59
FIGURA 5.7- CUSTO DE UM MOTOR ELÉTRICO[54]	60
FIGURA 5.8- TABELA DE RENDIMENTOS DOS MOTORES ELÉTRICOS[55]	60
FIGURA 5.9- EFICIÊNCIA DAS VÁRIAS TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO[56]	62
FIGURA 6.1- PRODUÇÃO MUNDIAL DE HIDROGÉNIO[57]	67
FIGURA 6.2- RESISTÊNCIA ELÉTRICA[59]	68
FIGURA 7.1 - ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA (ZEE) DOS PAÍSES EUROPEUS[65]	70

Índice de Tabelas

TABELA 3.1- TIPOS DE AUDITORIAS ENERGÉTICAS	35
---	----

SIGLAS

ADENE- Agência para a Energia
ARCE- Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia
C.A.E- Classificação de atividade económica
CE- Consumo Específico de Energia
CEMEP- Associação Europeia de Fabricantes de Motores Elétricos
CELE- Comércio Europeu de Licenças de Emissão
CIE- Consumidores Intensivos de Energia
COP- Conference Of the Parties
CTCV- Centro tecnológico da cerâmica e do vidro
DEM- Departamento de Engenharia Mecânica
DGAIEC- Direção Geral das Alfândegas e Impostos Especiais sobre o consumo
DGEG- Direção Geral de Energia e Geologia
Empresa PME- Micros, pequenas e médias empresas
FCTUC- Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
FE- Faor de Emissão
ISP- Imposto Sobre os Produtos petrolíferos e energéticos
IE- Intensidade Energética
IEA- International Energy Agency
IC- Intensidade Carbónica
OMIE- Operador do Mercado Ibérico de Energia
ONU- Organização das Nações Unidas
PCI- Poder calorífico inferior
PNEC- Plano Nacional de Energia e Clima
PREn- Planos de Racionalização do Consumo de Energia
REP- Relatório de Execução e Progresso
RGCE- Regulamento de Gestão do Consumo de Energia

SGCIE- Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

UE- União Europeia

UNIDO- Organização para o Desenvolvimento Industrial

UPAC- Unidade de Produção de Autoconsumo

VA- Volt Ampere

VAR- Volt Ampere Reativo

W- Watts

ZEE- Zona Económica Exclusiva

1. Introdução

1.1. Enquadramento e Motivação

A consciencialização, pelos cidadãos e pela sociedade em geral, de que os recursos naturais são um bem finito, tem vindo a aumentar progressivamente. Por outro lado, sabe-se que o atual sistema de produção de bens, a manter-se, poderá conduzir à destruição do nosso planeta, ou, no mínimo, torná-lo inabitável e incompatível com a vida como hoje a conhecemos.

A economia, no sentido da ciência que estuda as organizações produtivas de bens e serviços, a sua distribuição e consumo, não se esgota no plano financeiro. Considero que a economia se deve aproximar mais da ecologia, (ciência do equilíbrio e harmonia entre todos os seres que constituem o nosso mundo), do que da finança no sentido estrito.

De facto, quer a economia quer a ecologia são palavras que derivam da mesma raiz original. O elemento “eco” vem do grego **oikos** que significa “casa”. A título de exemplo, menciono a atual tendência para a produção crescente de bens, sem atender aos efeitos nocivos dessa mesma produção, como a acumulação de lixos, mas sobretudo o consumo energético que irá ser o que terá mais peso neste trabalho, e sobre o qual decidi elaborar o mesmo.

O desenvolvimento tecnológico que se conseguiu nos últimos séculos transformou radicalmente a mentalidade e a forma de viver do ser humano e das comunidades. Em contrapartida, a dependência energética ganhou um forte peso no nosso dia-a-dia, desde o aquecimento das casas passando pela confeção dos alimentos, até às nossas deslocações.

É neste contexto que aparece a expressão *eficiência energética*. Não existe unanimidade quanto ao sentido desta expressão. Há quem a explicita como podendo ser descrita pela equação (1.1), que exprime a quantidade útil de energia usada no processo em relação à energia de entrada para que o processo inicie.

$$\frac{\textit{potência útil}}{\textit{potência fornecida}} * 100 \% \quad (1.1)$$

Outros consideram-na o rácio de energia usado por unidade de atividade ou serviço prestado, descrito na equação (1.2).

$$\frac{\textit{energia}}{\textit{serviço prestado} \cup \textit{atividade prestada}} * 100 \% \quad (1.2)$$

Haverá ainda certamente outros autores para quem a referida expressão conhecerá outras definições.

Temas como as alterações climáticas e o aquecimento global têm surgido cada vez com mais frequência e com maior destaque e alarme, uma vez que podem ter como consequência danos irreversíveis no meio ambiente.

As primeiras políticas energéticas implementadas com esta preocupação ocorreram em 1997 com a assinatura do Protocolo de Quioto[1], tendo como objetivo reduzir as emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE) pelos países desenvolvidos no âmbito das alterações climáticas. Neste primeiro protocolo os países em desenvolvimento não estavam abrangidos.

Devido à escassez de recursos presentes na terra os governos e a população têm investido em tecnologias renováveis, bem como em tecnologias com rendimento mais elevado de modo a ter o mínimo impacto possível, e por sequência o uso energético mais racional. O ambiente constitui assim um desafio ao ser humano de modo a melhorar a vida na terra.

As técnicas até agora implementadas pelos governos de modo a atingir uma economia neutra em carbono são baseadas no investimento em energias renováveis visto a pegada ecológica ser mais baixa do que pelo uso de energias não renováveis, e também no aumento geral da eficiência energética dos serviços e bens.

Em 2015 a União Europeia (UE) com os outros países mundiais acordou cumprir através do Acordo de Paris [2], 3 objetivos principais:

- Aumento máximo da temperatura global abaixo dos 2°C com esforço para que esse valor se mantenha abaixo dos 1.5°C;
- Aumentar a capacidade de adaptação aos impactos das alterações climáticas;

- Implementar fluxos financeiros consistentes com trajetórias de desenvolvimento resilientes e de baixo consumo de carbono.

O primeiro objetivo apresentado é o mais importante devido ao facto de o seu não cumprimento, poder causar efeitos catastróficos para o meio ambiente e para a população em geral, como, por exemplo, o aumento de fenómenos climáticos extremos, de entre os quais se destacam ondas de calor, inundações e, secas.

Até hoje já foram realizadas pelo menos 27 conferências sobre o problema das alterações climáticas, numa série a que se dá o nome de “Conferência das Partes” ou, em inglês, “Conference of the Parties” (COP). Esta série de conferências reúne anualmente todos os países que assinaram o acordo de Paris, para debater e tentar chegar a um consenso sobre o problema das alterações climáticas. A última conferência, foi realizada no Egipto [3], onde se concluiu que o acordo de Paris não pode ser alterado e que a meta do limite máximo de subida da temperatura média da terra de 1,5°C, até ao final do século, ainda é alcançável. Apesar da guerra na europa e do elevado preço do gás natural não se pode apostar no carvão.

Em 2016, Portugal comprometeu-se a atingir a neutralidade carbónica até ao final de 2050, tendo desenvolvido o Roteiro para a Neutralidade Carbónica (RNC)[4]

No RNC são indicadas as medidas e calendarizadas as reduções das emissões que Portugal vai ter ao longo dos próximos anos, até 2050. Nesse relatório é apresentada a estratégia de desenvolvimento com baixas emissões de GEE, sem prejudicar demasiado a nossa economia, visto Portugal ser dos países mais pobres da EU. [5]

De modo a completar o RNC, o governo decidiu elaborar o Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) 2030, tendo em conta a importância crucial da próxima década (2021-2030) na redução das emissões em larga escala. Este plano estabelece as políticas a serem adotadas durante este período e tem como objetivo reduzir as emissões nacionais de gases de efeito estufa. Essa redução, espera-se, pode vir a ser alcançada através do incentivo à adoção de fontes de energias renováveis e do investimento em eficiência energética, tendo em conta que estes são os dois pilares principais para alcançar uma economia neutra em carbono. [6]

Neste documento são apresentadas ainda políticas mais específicas para cada setor.

No final da década, é explicitado no PNEC como objetivo, um aumento da eficiência energética de 32,5% com referência ao ano de 2005 em todos os setores, como resultado da promoção de medidas de eficiência.

Entre elas medidas destacam-se: a promoção da eletrificação, quanto possível, o incremento da utilização de fontes de energia renovável, a promoção de uma economia circular e o desenvolvimento de serviços e produtos de baixo teor carbónico.

Além do investimento na produção de energia através de fontes renováveis e na eficiência energética, também se menciona outro investimento, relacionado com o aumento das interligações da Rede Elétrica Portuguesa com países vizinhos, de modo a tornar possível o máximo de interligações, que são essenciais para o desenvolvimento do mercado interno da energia, promovendo também a segurança de abastecimento. Portugal atualmente tem interligação e acordo apenas com Espanha, o que limita o mercado energético. No PNEC 2030, é enunciado o objetivo de aumento das interligações energéticas de 12% para 15%.

O Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE), é o mercado de energia que determina os preços da eletricidade na Península Ibérica. É responsável por gerir o mercado grossista diário e intra-diário de eletricidade entre Espanha e Portugal. Por outras palavras, o OMIE é o órgão responsável por estabelecer o preço de venda da eletricidade no mercado entre estes dois países.[7]

É importante deixar de investir em tecnologias que tenham como base a utilização de combustíveis fósseis. Para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, é importante investir em tecnologias que não dependam de combustíveis fósseis. O PNEC refere que as isenções fiscais aplicáveis aos combustíveis fósseis totalizaram cerca de 441 milhões de euros em 2017. A eliminação faseada da isenção do ISP aplicável ao carvão para a produção de eletricidade foi estabelecida no orçamento do estado de 2018, com o objetivo de eliminar completamente a isenção fiscal até 2022. Esse foi um dos motivos que, em novembro de 2021, levou ao fecho da central termoelétrica do Pego, a última central térmica a carvão existente em Portugal.[8]

Ao longo dos próximos anos, prevê-se a extinção do incentivo fiscal nas restantes tecnologias baseadas em combustíveis fósseis.

Durante muitos anos, o carbono foi amplamente considerado uma externalidade, ou seja, um fator que não era incluído no preço dos produtos. Isso significa que os custos ambientais associados à emissão de carbono não eram levados em consideração na

determinação dos preços de mercado dos produtos e serviços. No entanto, a União Europeia tomou a decisão de criar um mercado para o carbono, o Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE).[9]

Neste mercado encontram-se as empresas mais poluidoras, tais como as refinarias, a produção de metais, cimentos, cerâmica e vidro, entre outras. Em Portugal encontram-se inscritas neste mercado cerca de 150 empresas. [10]

Este mercado abrange cerca de 45% de todas as emissões de GEE na Europa. Dessa forma, somente aqueles que pagam pelo carbono podem poluir. Esse mercado permitiu dar um valor ao carbono, algo que nunca havia sido alcançado antes.

O CELE foi dividido em 4 fases, a primeira, que teve a duração de 3 anos e em que as empresas receberam gratuitamente as licenças de carbono, foi considerado um projeto piloto, na medida que licenças recebidas nesta fase não foram possíveis de utilizá-las nas fases seguintes.

Na segunda fase, o número de licenças já teve uma redução, sendo algumas delas já pagas. Pelo contrário na terceira fase já não foi disponibilizada gratuitamente nenhuma licença, quem desejasse obter licenças só o poderia fazer recorrendo ao mercado.

Na última fase, a atual, o mercado já está consolidado e terá uma redução anual de 2,2% no total de emissões, de modo a atingir a neutralidade carbónica em 2050.

As metas na Europa, dentro de todos os cenários, estavam a ser cumpridas, mas, devido à pandemia e à guerra na Ucrânia, houve mudanças em diversas políticas ambientais, também pelo facto de alguns países europeus dependerem do fornecimento de gás natural a partir da Rússia. Este combustível fóssil é considerado o menos poluente em comparação com outros tipos de combustíveis fósseis.[11]

A Alemanha viu-se forçada a aumentar a produção de energia elétrica a partir de centrais a carvão, embora reconhecendo que é muito mais poluente do que o gás natural, na tentativa de se tornar progressivamente menos dependente do gás natural russo. [12] Atualmente, a escolha da fonte de energia a ser utilizada é influenciada não apenas por questões económicas e ambientais, mas também pela necessidade de reduzir a dependência energética de apenas um fornecedor.

Este problema não afetou significativamente Portugal na medida em que os seus maiores fornecedores de gás natural se encontram em África, a Argélia e a Nigéria.

Na Figura 1.1, é apresentado um gráfico referente às emissões dos principais gases de efeito de estufa ocorridas em Portugal ao longo dos últimos anos. Como se pode ver, verificou-se uma redução das suas emissões dos GEE, exceto em 2017, ano para o qual ocorreu um aumento e se, atingiu um pico nas emissões. Este aumento está relacionado com o elevado número de incêndios florestais que ocorreram naquele ano, e com a baixa produção de eletricidade através da energia hídrica visto ter sido um ano seco e muito quente [13], [14]

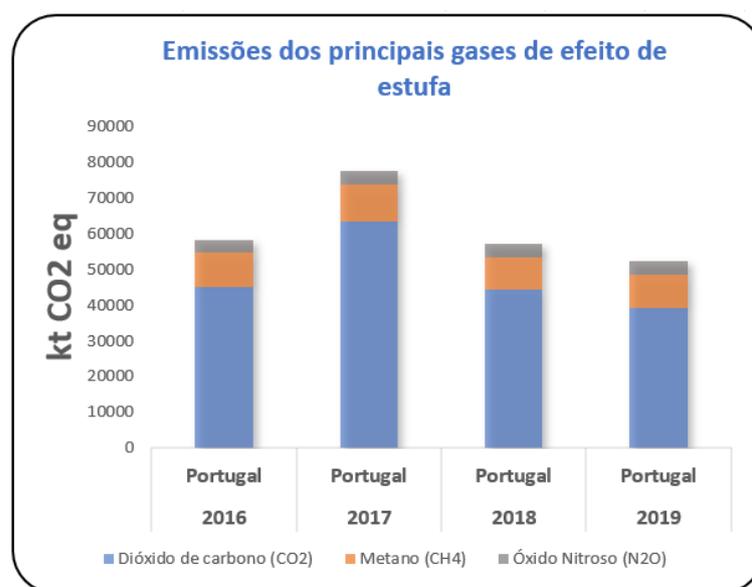


Figura 1.1. Evolução das emissões de GEE 2016 a 2019 [15]

Um dado que é possível retirar da Figura 1.1, é o de as emissões de *Dióxido de Carbono* representarem a quase a totalidade das emissões, sendo que os restantes gases, quer o *Metano* quer o *Óxido Nitroso*, têm uma relevância menor, sendo a maior prioridade, por isso, a redução das emissões de CO₂.

Pode afirmar-se que a indústria nos seus diversos setores, é responsável por uma elevada produção de GEE em Portugal.

No gráfico da Figura 1.2, referente ao ano de 2020 a desagregação das emissões por setor de atividade económica é apresentada. A indústria é responsável por cerca de 26,5% de todas as emissões produzidas por Portugal, se for considerado os processos industriais, bem como a combustão na indústria.

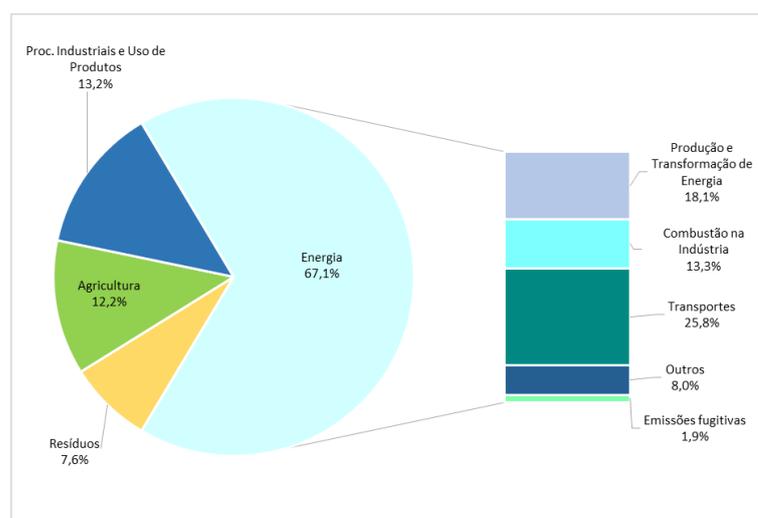


Figura 1.2- Emissões de GEE em 2020 [16]

No gráfico pode-se comprovar que o setor dos transportes, e a parte da produção e transformação de energia ainda têm uma elevada relevância no que se refere à produção de emissão de GEE.

O setor industrial, no global da economia, constitui um dos maiores desafios que enfrentamos, na medida em que faltam tecnologias capazes de reduzir as emissões poluentes causadas pelos processos industriais atualmente utilizados. Neste âmbito, realço que a indústria da cerâmica é uma das mais poluidoras.

Como referido anteriormente, grande parte das indústrias cerâmicas encontram-se no CELE, devido ao seu elevado consumo energético. Na Figura 1.3, estão representadas as emissões de CO₂ desde 2005 até 2020, tendo-se verificado em geral uma redução de emissões ao longo dos últimos anos. Se compararmos os valores entre 2005 e os dias de hoje, verificamos a existência de uma redução de 1 200 000 ton CO₂eq para cerca de 820 000 ton CO₂eq, o que é algo notável. Porém, é necessário continuar a investir para se poder atingir a neutralidade carbónica em 2050, o que constitui um grande desafio para a indústria cerâmica.

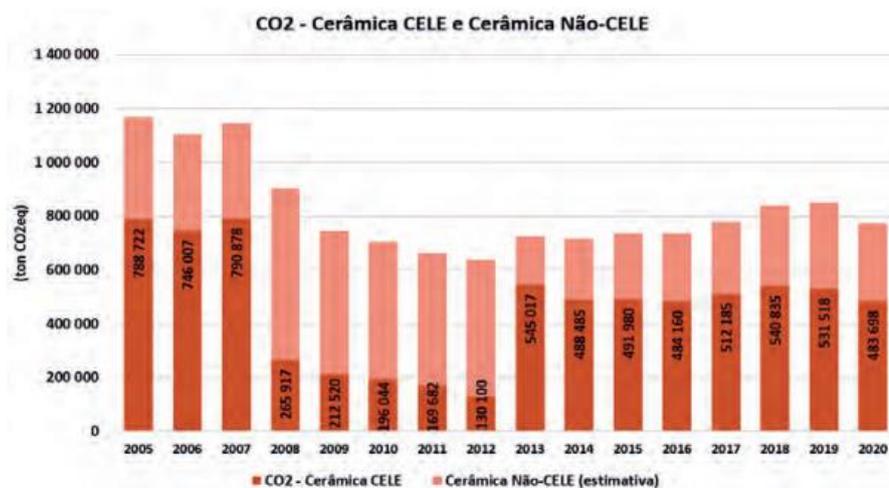


Figura 1.3- Emissões de CO2 na indústria cerâmica[17]

Além das emissões de GEE, um dado muito importante está relacionado com o consumo de energia.

A indústria é um dos setores de atividade económica com maior consumo de energia em Portugal. Em 2019¹ esse consumo ascendia a cerca de 4 500 ktep, o que representa aproximadamente 26,3% do total da energia bruta consumida em Portugal. Na Figura 1.4, está representado um gráfico com essa informação, a par dos transportes rodoviários, que representa 5 800 ktep, estes dois setores são os maiores consumidores energéticos, porém são dos setores mais importantes para o desenvolvimento da sociedade no século XXI.

¹ Foi decidido usar o ano de 2019, em 2020 ocorreu a pandemia, na qual os resultados não são os mais corretos, já os dados relativos a 2021 ainda não estão atualizados

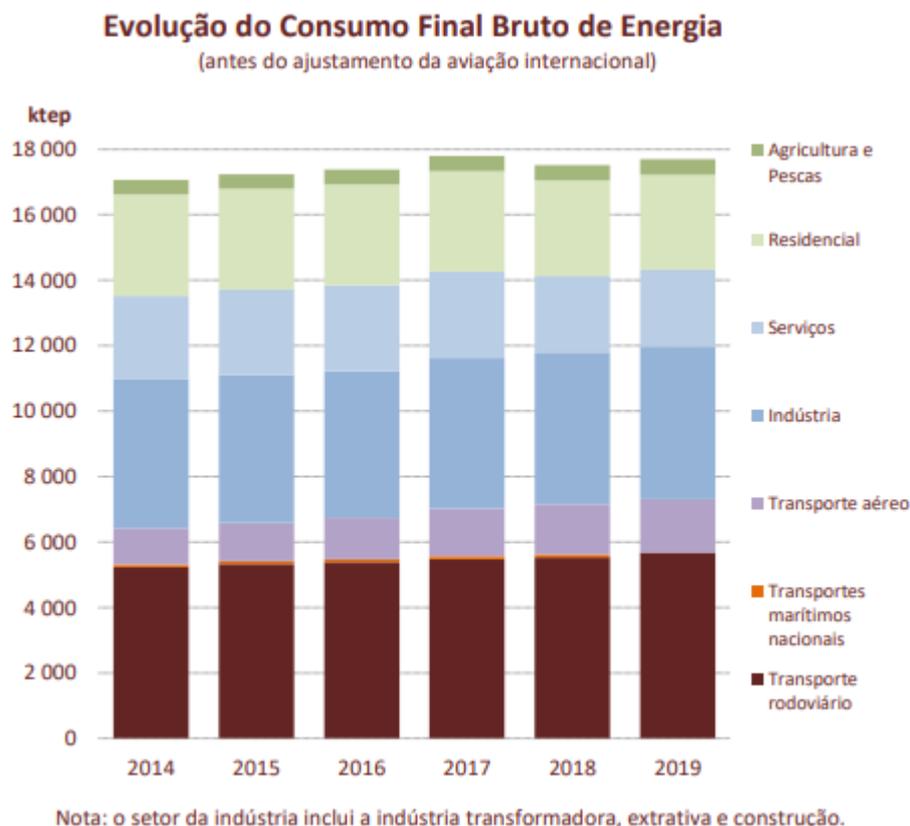


Figura 1.4- Evolução do consumo final bruto de energia em Portugal [18]

O setor da indústria apresenta os maiores desafios dada a falta de tecnologia capaz de reduzir as emissões, em particular nos processos industriais. Este setor, onde a indústria da cerâmica está inserida, é um dos mais poluidores. No RNC, as soluções para a indústria cerâmica passam pelo investimento na eletrificação e no uso de biomassa para produção de calor ao invés da utilização do gás natural, ou qualquer outro tipo de combustível fóssil.

Na figura abaixo é apresentada a evolução do consumo da energia final na indústria, em *ktep* de 2014 a 2019. Para o ano de 2019, o setor da cerâmica em conjunto com o do vidro e os cimentos tinham um consumo de cerca de 1 000 *ktep*.

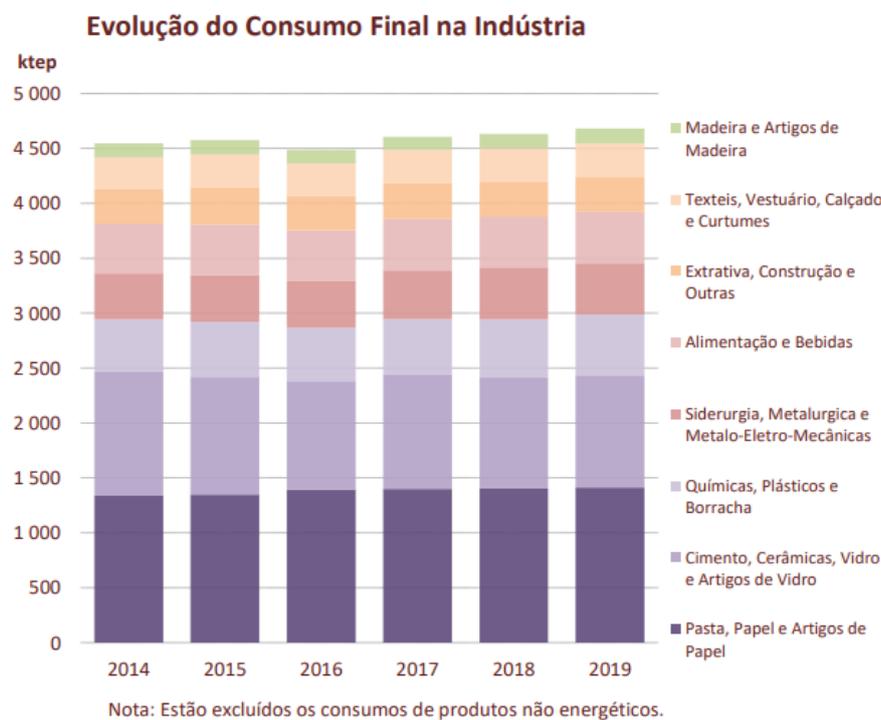


Figura 1.5- Consumo energético final na indústria [18]

Só o setor da indústria do papel representa um consumo energético superior, juntos estes dois setores, são responsáveis por mais do que 50% de consumo de energia de toda a indústria.

Há quem defenda uma estratégia alternativa ao atual crescimento na produção de bens consumíveis com recurso ao uso das energias renováveis. Essa alternativa seria o decrescimento económico (“degrowth”) pela redução do consumo energético e consequentemente cumprimento das metas estabelecidas nos acordos firmados.

Durante a crise pandémica da Covid-19 alguns economistas juntaram-se a ativistas climáticos, artistas e organizações sobre o ambiente e decidiram elaborar uma carta aberta, distanciando-se dos pressupostos capitalistas, para que as metas do ambiente sejam atingidas e possamos viver numa sociedade mais justa. [19]

Os membros deste movimento económico-ecologista criticam as políticas até agora implementadas como sendo poucas e todas insuficientes, apostando mais nos mercados e menos nas energias renováveis, o que provocou um pico de emissões de GEE[20]

Os mesmos apoiam uma melhor qualidade de vida da sociedade em geral, abandonando o foco no crescimento económico do país ou da região. Nesta dinâmica defendem que alguns setores económicos têm de ser reestruturados, como, por exemplo, a

produção de materiais com base nos combustíveis fósseis, a publicidade, o serviço militar, o setor dos automóveis, entre outros. Defendem o forte investimento na saúde, educação, energias renováveis e na agricultura biológica.

Estas políticas, a serem implementadas iriam fazer aumentar o desemprego, e por isso era necessário alterar de forma radical as horas de trabalho semanais e apostar na partilha de trabalho (“Work Sharing”), que consiste na redução das horas de trabalho. Uma parte do salário é pago pela empresa, e o restante pelo estado. Assim, os empregados não trabalhariam a tempo inteiro, e aumentaria naturalmente o número de trabalhadores nas empresas.

Organizar a sociedade de forma a criar o acesso a todos os bens essenciais como alimentação, casa, educação e estabelecer um salário mínimo e máximo, tais políticas poderiam conduzir a um sistema em que a propriedade privada teria de ser revista.

Poderia alguém pensar que as estratégias mencionadas são incompatíveis, no entanto, é legítimo pensar se não é possível harmonizar as duas tendências, de modo a aproveitar os benefícios de ambas e a minimizar os seus aspetos negativos. Admite-se que seja possível reduzir as emissões de GEE com crescimento económico, devido ao investimento em energias renováveis e em eficiência energética. De facto, nos países desenvolvidos as emissões têm diminuído consideravelmente, sem uma desaceleração significativa no crescimento económico. [21]

Se eventualmente se procedesse, sem medidas corretivas, a uma desaceleração descontrolada ou “degrowth” nos países mais ricos, tal não iria melhorar a vida nos países mais pobres, pois o mundo está todo interligado (Globalização), e nem por isso os maiores emissores de GEE, a China ou Índia por exemplo, iriam baixar as suas emissões.

Durante a pandemia os países que sofreram mais foram os países pobres porque o consumo decresceu, tal como o turismo. [22]

A criação de novas tecnologias e o desenvolvimento rápido de medicamentos e vacinas, como aconteceu com a do COVID-19, não era possível sem investimento privado nestes tratamentos. [23]

A guerra que atualmente decorre na Europa [24] não é apenas entre os dois países e mostrou à UE e aos EUA que não se pode deixar de investir em armamento, o que desestabilizou ainda mais as economias frágeis de grande número de países e agravou os problemas de todos, também no plano energético.

O desinvestimento em armamento não deve acontecer enquanto existirem líderes políticos autoritários à frente de vários países, como por exemplo, acontece na Rússia, com Vladimir Putin, na China com XI Jinping, na Coreia do Norte com Kim Jong-un, entre outros.

Sabemos que não têm sido possível desacelerar a economia sem piorar o estilo de vida dos povos, aplicando medidas nesse sentido, a maioria das pessoas que vive em condições de pobreza ainda iria piorar mais a sua vida. Por isso, a ideia de decrescimento económico parece levantar mais problemas do que resolvê-los, mesmo a nível energético e ecológico.

Portugal é dos países europeus mais pobres energeticamente, o quarto pior da UE, tendo em conta que se define pobreza energética como a capacidade de suportar os custos dos serviços energéticos que garantam o aquecimento e arrefecimento das habitações, bem como a confeção de alimentos. [25]

Atendendo à importância da eficiência energética no setor industrial, entendi por bem dedicar-me a este tema mais concretamente à indústria da cerâmica, um dos grandes consumidores de energia em Portugal, com o objetivo de ilustrar a importância do investimento na eficiência energética e demonstrar as vantagens de se fazerem tais investimentos.

Nos últimos anos tem-se verificado um grande investimento na tecnologia fotovoltaica e eólica, porém, a variabilidade da energia produzida com esses recursos tecnológicos tem sido um entrave à generalização e ao crescimento da relevância do seu uso dado os problemas de estabilidade da rede de distribuição de eletricidade que colocam.

Apesar de já existir uma elevada produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, Portugal ainda se encontra em grande dependência energética, por não dispor de outras fontes energéticas, nomeadamente de combustíveis fósseis. Em Portugal, a despesa na compra de matérias-primas para a produção de energia é bastante elevada, mas, investindo-se nestas tecnologias verdes, está a fazer-se um investimento a longo prazo, tornando menor a sua dependência energética e reduzindo o impacto da variabilidade dos preços da matéria-prima e à desvalorização da moeda, entre outras vantagens.

Em 2019, Portugal foi o 11º país da UE com maior dependência energética, 73,86%, enquanto a média da UE se encontra em 60,46% [26]

Decidi escolher o estudo desta problemática do aparente conflito entre crescimento económico e eficiência energética, no sentido de se respeitar o meio ambiente, diminuindo

a emissão de GEE e celebrar os acordos estabelecidos internacionalmente, sem adotar as políticas do chamado “degrowth”. Esta minha escolha pretende ser um contributo para o equilíbrio da natureza, na medida em que, a partir da investigação feita em empresas produtivas no domínio da cerâmica, poderei aplicar na minha futura atividade profissional os conhecimentos adquiridos nesta fase da minha formação universitária.

1.2. Objetivos e Plano de trabalho

Pode-se concluir que os processos que consomem mais energia na indústria cerâmica estão relacionados com a produção de energia térmica, e por isso é muito importante investir em eficiência energética geração e uso deste tipo de energia incluindo o seu reaproveitamento.

Além dos processos de elevado consumo energético, existem outros processos que não necessitam de tanta energia tal como a moldagem, escolha e embalamento do produto final.

Atualmente, a energia térmica usada na esmagadora maioria das empresas cerâmicas provêm da combustão de gás natural.[27] Porém com a pandemia e a guerra na europa, o preço do gás natural tem aumentado bastante [28] o que torna necessário alterar a forma de se produzir a energia térmica.

Apesar de a utilização da energia elétrica neste setor se poder considerar mais residual, sendo utilizada sobretudo na força motriz das máquinas, ar comprimido, iluminação, ar condicionado e sistemas de ventilação, mesmo assim representa um elevado custo energético. Porém, nos próximos anos as estimativas apontam para um consumo de eletricidade superior devido à alteração dos atuais fornos a gás natural para fornos elétricos.

Tendo em conta o atual estado da arte, pareceu adequado considerar como principais objetivos deste trabalho de investigação os seguintes tópicos:

- Estudar os métodos utilizados na indústria de forma a incentivar o investimento em tecnologias menos poluidoras.

- Elaboração de uma base de dados sobre a indústria cerâmica com as informações mais importantes das auditorias energéticas e comparar o consumo consoante o tipo de produto.

- Analisar as atuais tecnologias presentes na indústria de modo a reduzir o consumo energético.

-Estudar diferentes tecnologias e analisar as diversas alternativas.

-Comprovar que os investimentos em tecnologias mais eficientes têm enormes vantagens.

Após a introdução, onde estão explicitados o contexto e os objetivos do trabalho, o segundo capítulo apresenta o estado da arte, da produção industrial na área da cerâmica. Tal informação foi recolhida a partir de documentos publicados.

O capítulo seguinte, o terceiro, será dedicado ao estudo dos procedimentos de uma auditoria energética, bem como à análise de todos os indicadores e informações necessárias para se proceder a um plano de racionalização de energia.

No 4.º Capítulo irá ser analisada a base de dados desenvolvida onde estão explícitos os dados económicos e energéticos de empresas da indústria cerâmica.

No capítulo 5 procedeu-se ao desenvolvimento das medidas de economia de energia que são implementadas na indústria cerâmica.

De forma a completar o trabalho foi adicionado o capítulo 6, onde se analisou as tecnologias mais inovadoras para que a neutralidade carbónica seja atingida.

No capítulo 7 irá ser analisado o caso de Portugal, neste o ponto de situação em termos energéticos para que seja atingida a neutralidade carbónica em 2050.

O trabalho presente terminará com a apresentação das principais conclusões, que se impõem no ramo da eficiência energética na indústria cerâmica.

2. Estado de Arte

2.1. Produção de Cerâmica

Pode afirmar-se que a cerâmica é quase tão antiga como o homem. De facto, as investigações arqueológicas comprovam-no, uma vez que um dos primeiros artefactos a ser encontrado foi precisamente a cerâmica.

A indústria cerâmica apresenta uma grande diversidade de produtos. Podemos identificar nela diversos subsetores, cada um dos quais com as suas características específicas: a cerâmica de construção, cerâmica utilitária e a cerâmica técnica, conforme se pode observar na Figura 2.1.

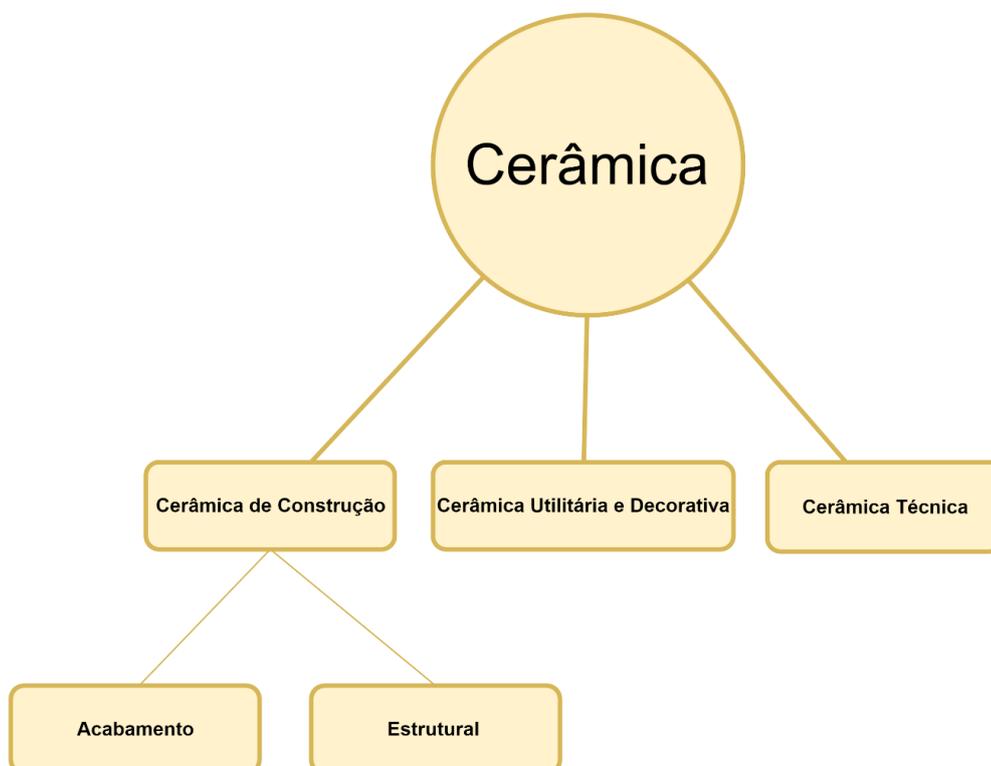


Figura 2.1-Subsetores da Indústria Cerâmica

Para além da classificação anteriormente apresentada, a cerâmica também pode ser dividida, em função da matéria-prima usada em dois grupos, a de Cerâmica de Barro Branco (porque as matérias-primas são pastas brancas), onde se encontra a maioria dos produtos à exceção da cerâmica estrutural, a do Barro Vermelho (porque usam pastas vermelhas na sua constituição).

2.1.1. Cerâmica de Construção

A cerâmica de construção está dividida em dois subsectores distintos, o estrutural e os de acabamento. Incluem-se no primeiro os elementos utilizados na estrutura de edifícios, como sejam os tijolos (Figura 2.2), telha (Figura 2.3) e abobadilha (Figura 2.4).



Figura 2.2- Tijolo[29]



Figura 2.3- Telha[30]



Figura 2.4- Abobadilha[31]

Apesar destes produtos terem fins distintos, o seu processo de fabrico é bastante parecido.

Esse processo inclui: a extração de argilas, preparação da pasta, moldagem, secagem, cozedura, embalagem e armazenagem.

O segundo subsector da cerâmica de construção é o dos acabamentos, como, incluindo a produção de louça sanitária (Figura 2.5), pavimentos (Figura 2.6) e revestimentos. Também neste subsector o processo produtivo é muito similar, incluindo a extração de argila, preparação da pasta, atomização, secagem, vidragem, cozedura, embalagem e armazenagem.



Figura 2.5- Louça sanitária [32]



Figura 2.6- Pavimento [33]

Em ambos os subsetores da construção, quer no estrutural, quer no dos acabamentos, a fase de maior consumo energético é no processo de cozedura[34]

2.1.2. Cerâmica Utilitária e Decorativa

Outro setor da cerâmica, é o da cerâmica utilitária e decorativa que, por sua vez, que, quanto à matéria-prima, inclui a porcelana, o grés e a faiança.



Figura 2.7- Cerâmica Utilitária e Decorativa[35]

A grande diferença entre estes materiais reside, essencialmente, nas matérias-primas usadas na preparação das pastas e na temperatura de cozedura. Neste subsetor, o processo de fabrico inicia-se na extração de argila, preparação da pasta, atomização, prensagem, secagem, cozedura e vidragem. No final poderá ser adicionada decoração.

Quando a peça chegar ao final do seu processo, é elaborado o embalamento e armazenagem do produto final.

2.1.3. Cerâmica Técnica

Neste subsetor da cerâmica estão incluídos vários produtos muito distintos, desde condensadores cerâmicos (Figura 2.8), até isoladores de alta tensão (Figura 2.9). A cerâmica é muito utilizada na indústria de componentes eletrônicos porque têm uma elevada resistência a altas temperaturas e tensões.



Figura 2.8- Condensador Cerâmico[36]



Figura 2.9- Isolador de alta tensão[37]

Devido ao grande leque de produtos incluídos neste setor, não existem nele processos típicos.

2.2. Indústria Cerâmica em Portugal

Em 2019 o setor da cerâmica era composto por 1 139 empresas (sociedades e empresas individuais), e empregava cerca de 18 375 pessoas, dando conta a sua relevância na economia portuguesa. [38]

Na Figura 2.10, é apresentado o valor económico da indústria cerâmica, desagregado por subsetor. Verifica-se que, o com maior volume de negócios em Portugal, é o da cerâmica

utilitária e decorativa. Quer os subsectores da cerâmica de construção, quer a o da cerâmica técnica têm um peso inferior.

Se somarmos todas as vendas em 2019 o setor da cerâmica representa um volume de negócios que ascende os 416 mil milhões €.

Produtos vendidos (€) da indústria por Tipo de produto

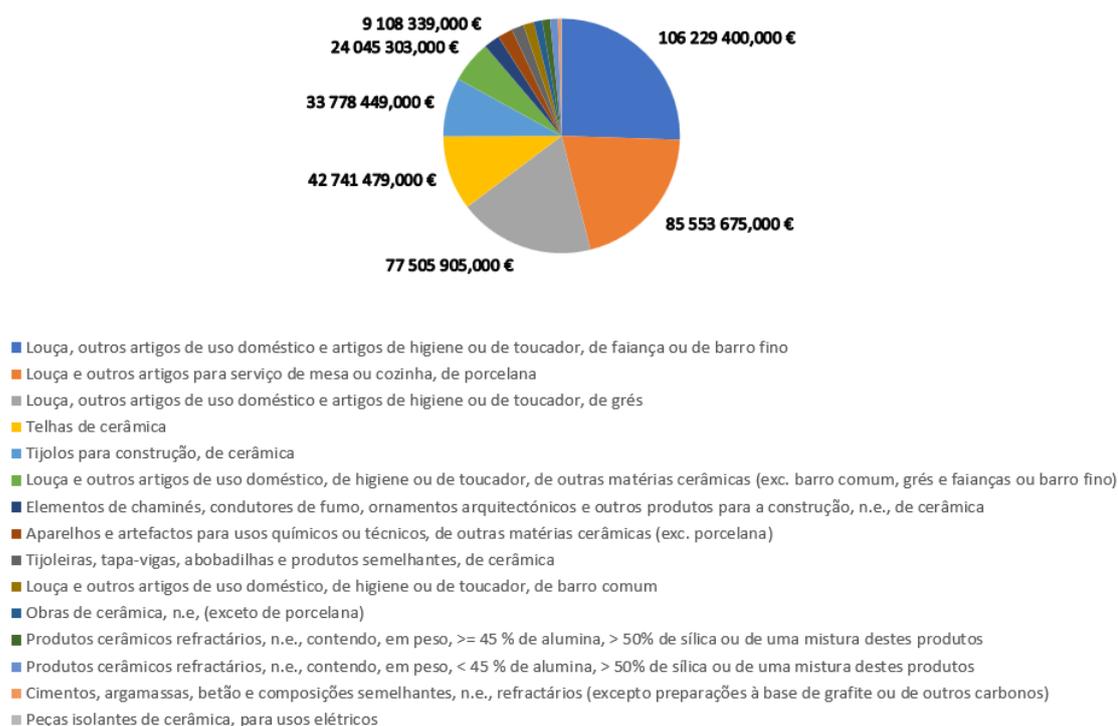


Figura 2.10- Produtos vendidos (€) da indústria por tipo [39]

2.3. Processos industriais

A elaboração de qualquer um dos processos cerâmicos implica consumo de energia, ainda que em grau diversificado. Desde a extração de matéria-prima proveniente da terra, até à forma de armazenamento, nas suas diversas fases, todo este processo não é exequível sem energia. Mais do que nunca, hoje existe a consciência da necessidade de reduzir o consumo energético. Para isso, torna-se necessário conhecer bem todos os processos presentes.

2.3.1. Extração de argilas

Em todos os tipos de cerâmica existe um processo comum, que corresponde à extração de matéria-prima proveniente da terra.

Existem diversos tipos de argilas com finalidades distintas, como mencionado anteriormente.

A forma de armazenamento e a constituição dessa matéria-prima difere tendo em conta a aplicabilidade. Existem diversas argilas com características diferentes.

Após a extração, as argilas são selecionadas e misturadas consoante as suas características de modo que possuam a maior qualidade e homogeneidade possível.

Após a extração da pasta é necessário proceder à preparação da pasta, nesta fase é novamente misturado e armazenado.

Por norma as empresas recebem já a pasta preparada, já na forma desejada.

Na Figura 2.11, está presente a extração de argilas vermelhas numa mina.



Figura 2.11- Extração de argilas[40]

2.3.2. Conformação

O processo de conformação é muito importante. É, nesta fase que a pasta cerâmica (ou material cerâmico) adquire a forma pretendida.

As peças podem ser conformadas segundo três vias: via plástica, via seca e via líquida. Nas diferentes formas de conformação utiliza-se a *extrusão*, que corresponde à compactação de uma pasta plástica dentro de uma câmara, contra um molde que possui a forma do produto. Esta operação ocorre no vácuo, para promover a desgaseificação da pasta. Após a extrusão ocorre a *prensagem*, onde a matéria-prima é colocada no molde inferior, depois é aplicada pressão entre as duas partes do molde que dá a forma da cavidade interna à pasta. No final da prensagem, a peça obtida é submetida a um teste visual do operador de forma a verificar os defeitos e retirar as rebarbas.

A conformação por via seca é efetuada com a utilização de pós com um teor de humidade muito baixo (entre 1% e 10%). Neste caso este pó é colocado dentro de um molde e comprimido por uma punção ou membrana. A prensagem unidirecional é limitada a formas simples, já a conformação por prensagem isostática, ocorre em peças mais complexas.

O último método de conformação, é a conformação por via líquida, neste caso as matérias-primas possuem uma humidade de 35%.

Neste método são utilizados moldes poliméricos porosos, de forma que ocorra o escoamento da água pelo molde.



Figura 2.12- Sala de conformação[41]

2.3.3. Atomização

A fase de atomização, que ocorre na cerâmica de pavimentos, acabamentos e na louça utilitária e decorativa, implica a secagem da barbotina, procedendo-se à evaporação da água através de uma corrente de ar quente. Esta é geralmente produzida por geradores de ar quente com queima direta. No final deste processo a barbotina transforma-se num pó seco. Uma representação esquemática do processo de atomização é apresentada na Figura 2.13 .

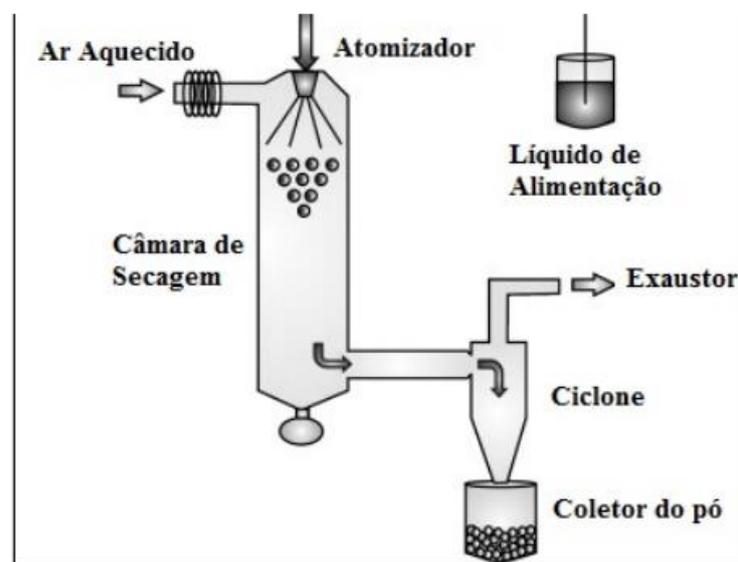


Figura 2.13- Processo de Atomização[42]

2.3.4. Secagem

Além da atomização, outro processo que também representa um grande consumo de energia é a secagem, que, como vimos, se encontra presente em todos os tipos de cerâmica.

A secagem pode ocorrer em secadores do tipo contínuo, semi-contínuo ou de câmaras estáticas.

A secagem é alimentada por gases quentes, que podem ser produzidos por um gerador de ar quente dedicado, ou podem ter origem, total ou parcialmente, no calor desperdiçado pelo forno. Outro modo de fazer a secagem envolve o uso de ar nas condições atmosféricas, situação para a qual não há consumo de energia. Na Figura 2.14, encontra-se um exemplo

de um transportador aéreo, neste caso as peças são secas sem a necessidade de geração de calor.



Figura 2.14- Transportador aéreo com secagem[41]

2.3.5. Cozedura

Em todos os processos acima referidos há consumo de energia, no entanto em nenhum desses processos o consumo é tão significativo como no da cozedura.

Cada tipo de cerâmica possui o seu tipo de cozedura. Na louça utilitária e decorativa a cozedura divide-se por duas etapas (bicozedura), sendo a primeira usada, para conferir resistência mecânica e a segunda finalizar o processo de vidragem.

Quando só é elaborada uma cozedura, dá-se o nome de monocozedura.

As variáveis no processo de cozedura são, a temperatura, o tempo e a atmosfera.

O cozimento é efetuado em fornos-túnel ou em fornos intermitentes.

Os fornos intermitentes são camaras como mostra na Figura 2.15, à esquerda, sendo carregadas manualmente. Já os fornos contínuos como o apresentado à direita, na Figura 2.15, são constituídos por diversas zonas. Nestes fornos não é necessário paragens para a carga e descargas.

O forno contínuo mais utilizado é o forno túnel onde a câmara de queima se encontra no centro e no qual, o material move-se de uma extremidade à outra, sofrendo um

aquecimento gradual até ao centro, local onde se efetua a combustão. Depois sofre o processo inverso de arrefecimento, até à saída do túnel.



(a)



(b)

Figura 2.15- (a) Forno Intermitente; (b) Forno Túnel [43], [44]

2.3.6. Vidragem

Este processo ocorre após a secagem. A vidragem não é mais do que um processo de revestimento que é aplicado na cerâmica após a primeira cozedura. Este processo utiliza diversas técnicas, são elas o mergulho/imersão, e vidragem à pistola, entre outras. Após a vidragem as peças são secas em transportadores aéreos expostos à temperatura ambiente.

Qualquer que seja a opção de decoração a peça é finalizada com uma última cozedura.

Na Figura 2.16, está presente o processo de vidragem à pistola, com a possibilidade de trabalhar manualmente, com um colaborador, ou automaticamente.



Figura 2.16- Vidragem[41]

2.3.7. Escolha, embalagem e armazenamento

O último processo corresponde à escolha, embalagem e armazenamento do produto final, representado na Figura 2.17.

As peças são escolhidas, e verificadas caso não possuam nenhum defeito, são embaladas e armazenadas.

Sempre que possível, estas peças são reaproveitadas para recozimento.

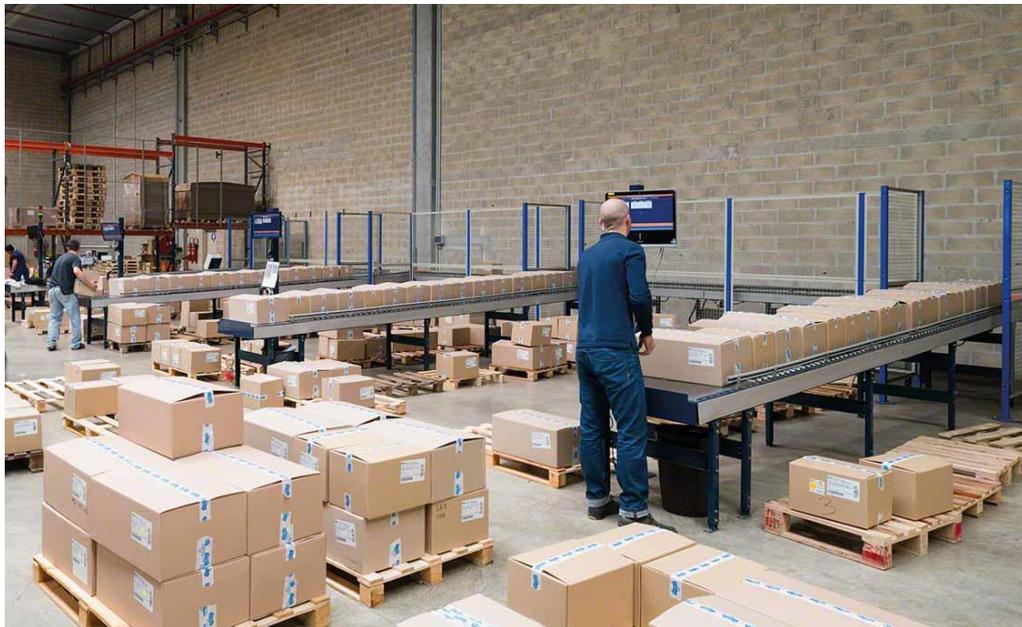


Figura 2.17- Exemplo de Embalamento[45]

A indústria cerâmica abrange uma grande diversidade de produtos, por isso não há um processo modelo, visto haver métodos muitos específicos. Por esta razão não foi decidido apresentar um esquema de produção.

3. LEGISLAÇÃO, NORMAS E AUDITORIAS ENERGÉTICAS

Atualmente, existem diversas normas, quer nacionais, quer europeias, aplicáveis aos Consumidores Intensivos de Energia (CIE), em que está incluída a indústria cerâmica, com o objetivo de reduzir o consumo específico de energia e conseqüentemente a emissão de GEE por unidade de produto produzida.

Na legislação destaca-se o Decreto-Lei nº71 e o Decreto-Lei nº68A, sendo que o primeiro está relacionado com auditorias energéticas a empresas PME e o segundo com auditorias energéticas a empresas não PME, pois têm um processo de redução de emissões diferente. No final deste capítulo será analisada a ISO 50001. Esta norma está relacionada com o sistema de gestão de energia e com os requisitos que estes podem apresentar para poderem vir a ser certificados.

3.1. Legislação

3.1.1. Decreto-Lei nº71/2008 (SGCIE)

Em 15 de abril de 2008 foi publicado o Decreto-Lei nº71, [46] sobre o Regulamento de Gestão de Consumo de Energia (RGCE), por empresas cujas instalações, para o seu funcionamento, exigem elevado consumo energético, estabelecendo regras orgânicas com vista a uma utilização mais racional da energia.

Este decreto-lei regula o sistema de gestão dos consumos intensivos de energia (SGCIE), para monitorizar os consumos de energia e promover a eficiência do seu uso com o intuito de assim se obter uma redução das emissões de CO₂.

Este regime aplica-se aos CIE que tenham tido durante um ano civil um consumo energético superior a 500 toneladas equivalentes petróleo (tep), (500 tep/ano), com exceção de instalações de cogeração. Porém qualquer entidade empresarial, mesmo que não tenha um consumo energético superior a 500 tep/ano, pode submeter-se voluntariamente a este

sistema que prevê a elaboração de planos de racionalização do consumo de energia que mais tarde se converterão em acordos de racionalização de consumo de energia.

No SGCIE são intervenientes a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), que tem como objetivo a supervisão e fiscalização do funcionamento, a Direção Geral das Alfândegas e Impostos Especiais sobre o Consumo (DGAIEC), que controla a concessão das isenções do imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos (ISP), a Agência para a Energia (ADENE), que tem como funções a gestão da plataforma do SGCIE, competindo-lhe, além de outras funções, receber os planos de racionalização do consumo de energia e apresentar relatório anual de atividades à DGEG.

No artigo 6º estabelece a obrigatoriedade de se proceder a auditorias energéticas regularmente, sendo que nas instalações com um consumo superior a 1000 tep/ano a auditoria tenha de ser feita de seis em seis anos, tal periodicidade passa a ser de oito em oito anos nas empresas com consumo entre 500 tep/ano e 1000 tep/ano. Entre as auditorias energéticas há metas de redução do consumo e emissões específicas a cumprir, e no capítulo 3.3.3 irão ser explicados os indicadores energéticos.

Para se proceder à elaboração do Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PREn) é necessária a elaboração prévia de relatórios das auditorias energéticas obrigatórias, os quais irão constituir a base do PREn.

Depois de o PREn ser entregue à ADENE é, posteriormente, submetido à aprovação pela DGEG. Uma vez aprovado pela DGEG, o plano passa a designar por Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE).

De modo a poder controlar-se a execução/implementação do ARCE, o operador ou entidade empresarial tem a obrigação, de dois em dois anos, proceder à elaboração de um Relatório de Execução e de Progresso (REP) e de o apresentar para apreciação à ADENE.

Para fomentar a adesão das empresas ao SGCIE o mais rápido possível existem incentivos. Um desses incentivos é o que se prende com a isenção do ISP que é conferido às empresas que tenham um ARCE aprovado pela DGEG.

As unidades industriais com o ARCE aprovado podem ser ressarcidas em, até 50% dos custos de auditorias energéticas e em até, 25% dos custos realizados em equipamentos e sistemas de gestão e monitorização dos consumos de energia.

Quando as medidas definidas no ARCE não são implementadas, ou não se verifica o cumprimento das metas acordadas, e o desvio é superior a 25%, o operador é penalizado com o pagamento de 50€/tep, valor que é agravado em 100% no caso de reincidência.

Se o desvio for superior a 50%, para além de terem de ser pagos 50€/tep, também têm de ser devolvidos os incentivos referidos anteriormente, como por exemplo o ISP.

O mesmo decreto-lei, estabelece o valor das taxas a pagar pela apreciação e acompanhamento do PReN. Esse valor importa em 350€ para empresas com consumo até 1000 tep/ano, e, nas instalações com consumos superiores a 1000 tep/ano, em 750€. O valor da penalidade é atualizado anualmente consoante a evolução do índice médio de preços no consumidor. Este índice é calculado por o INE, e tem o objetivo de medir as alterações dos preços de um conjunto de bens e serviços considerados representativos nas despesas das famílias em Portugal.

Além de todos processos referidos anteriormente a DGEG também processa as contraordenações e procede à aplicação e execução de coimas, sendo 60% do valor para o Estado, e 40% para o Fundo de Eficiência Energética.

Por último, ficou estabelecido que a regulamentação técnica, em particular o estabelecimento de requisitos de habilitação e experiência profissional exigidos para a credenciação de técnicos, ou entidades, no âmbito deste decreto-lei 71/2008, serão definidos e aprovados pelo Ministério da Economia.

De forma a sintetizar este decreto-lei está elaborado um gráfico com toda informação necessária, presente na Figura 3.1. No caso de instalações com consumo entre os 500 tep/ano e os 1000 tep/ano, a intensidade energética (IE) e o consumo específico (CE) necessitam de ser reduzidos em 4% num período de oito anos, de acordo com o plano vertido no ARCE sendo que, nesse período a intensidade carbónica (IC) necessita de ser mantida. Já as instalações com um consumo superior a 1000 tep/ano, necessitam de reduzir, no período anteriormente referido, a IE e o CE em 6%, e manter o IC.

No cálculo dos indicadores energéticos é utilizado o Despacho-17313 de-2008 [47] para o cálculo dos fatores de conversão para energia primária em TEP, e o Fator de Emissão (FE), para o cálculo das emissões. Este despacho é um complemento do SGCIE.

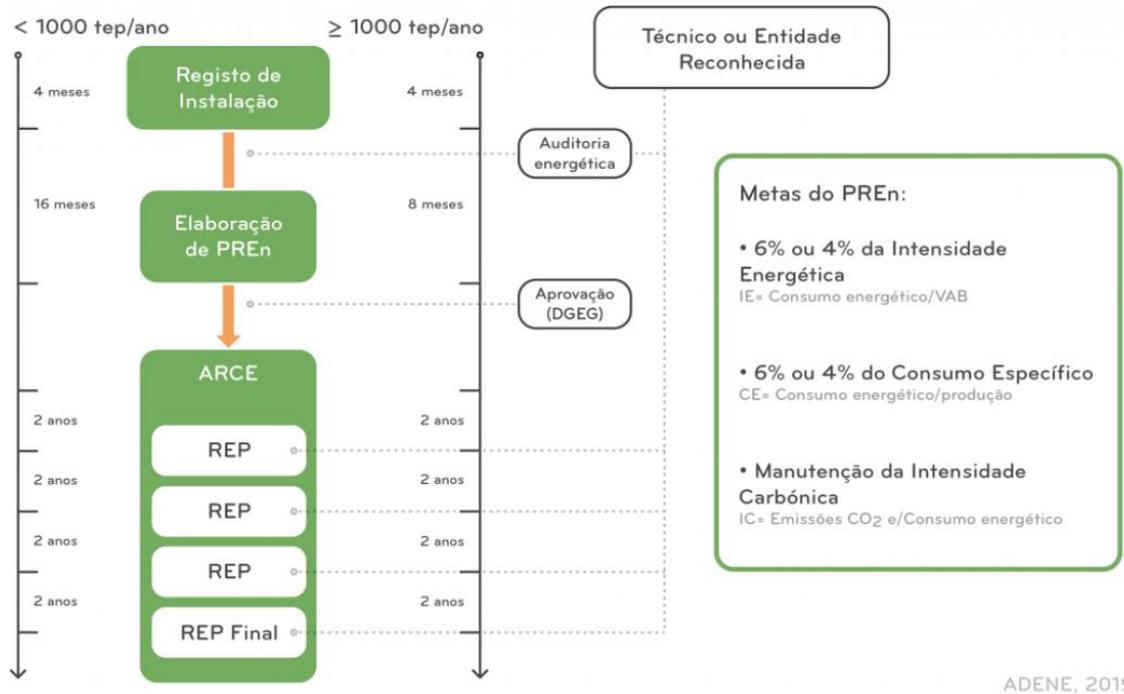


Figura 3.1- Esquema SGCI[48]

3.1.2. Decreto-Lei nº 68A/2015

O decreto-Lei nº 68A/2015 [49] transcreve para o Direito Português, a Diretiva de Eficiência Energética do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à Eficiência Energética, isto é, a Diretiva 2012/27/EU.[50]

Esta norma europeia, contempla vários setores, desde a renovação dos edifícios à promoção de medidas de eficiência energética junto dos grandes consumidores, incluindo o Estado, passando pela promoção de cogeração de alta eficiência para produção de calor/frio e pelo estabelecimento de regras orientadoras para a realização de auditorias energéticas (secção IV do mesmo Decreto-Lei).

Este Decreto-Lei contempla também as empresas não PME, ou seja, grandes empresas, sendo esta a grande diferença com o Decreto-Lei anterior, na medida em que contempla todos os setores.

O critério para distinguir entre as PME e as grandes empresas é o número de colaboradores e o volume de faturação: para que se não se considere uma empresa PME, é

necessário empregar mais de 250 pessoas, e o volume de faturação superior a 50 milhões de euros.

As auditorias são obrigatórias de quatro em quatro anos, podendo, no entanto, vir a ser efetuadas de oito em oito anos, no caso de não serem rentáveis, isto é, quando o custo das medidas de implementação de eficiência energética, acrescido do valor da própria auditoria, é superior ao valor da economia energética resultante das referidas medidas num período de quatro anos (ver artigo 12, nº 2 do mesmo Decreto-Lei).

3.2. Sistemas de Gestão de Energia

3.2.1. Norma ISO 50001

Além da legislação referida acima sobre o SGCIE, existe uma norma internacional a ISO 50001:2011,[51] que define os requisitos e as características que um sistema de gestão de energia deve apresentar. Esta norma foi publicada a 15 de junho de 2011, prevendo na altura afetar 60% do consumo energético e aumentar a eficiência energética em pelo menos 20% nas instalações industriais, comerciais e institucionais.

A ISO 50001 foi desenvolvida por ordem da Organização para o Desenvolvimento Industrial da ONU (UNIDO), através de um comité representativo de 35 países participantes e 5 observadores.

Esta norma destina-se a dar orientações para elaboração de um sistema de gestão de energia, com objetivo de reduzir o consumo energético e as emissões. Da implementação de sistemas de gestão de energia estruturados de acordo com o especificado na norma derivam enormes benefícios, como a necessidade de desenvolver um planeamento estratégico, que requer medição, gestão e fundamentação que contribuam para a melhoria contínua da eficiência energética e para a sustentabilidade da organização e para a otimização de consumos pela redução dos mesmos.

Pretende-se que a abordagem à gestão de energia envolva todos os aspetos que a aquisição e uso de energia implicam, como, por exemplo, acontece nos motores elétricos, em que a maior parte do consumo ocorre durante o processo de utilização e não no investimento inicial. Surgirão naturalmente estudos e programas que irão evoluir para políticas de poupança energética, e permitirão identificar indicadores-chave específicos para

avaliar este processo. Poderão igualmente servir de orientação na dinâmica do benchmarking, assim como na redução da emissão de gases com efeito de estufa e ainda na promoção de melhores práticas na gestão de energia.

Com o objetivo de aperfeiçoar todo este processo de melhoria no desempenho energético, pode proceder-se a uma avaliação certificativa. Esta certificação desenvolve-se em seis etapas, como demonstrado na Figura 3.2.



Figura 3.2- Certificação ISO 50001

A primeira consiste numa proposta, com base na dimensão e natureza da organização, podendo então ser estabelecido um contrato.

A segunda etapa, que pode ser opcional, é considerada útil para a identificação de eventuais pontos fortes e pontos fracos da organização, mediante uma auditoria.

Na terceira etapa, que corresponde à primeira fase da auditoria formal, o auditor tem a possibilidade de compreender melhor a organização e planear o resto da auditoria. No final desta fase a empresa recebe um relatório em que se apresentam as maiores preocupações e os incumprimentos observados.

Na fase 2 do processo de auditoria, na qual se incluem entrevistas aos colaboradores da organização e à análise dos registos, são apresentadas as constatações da auditoria e classificadas as inconformidades como maiores ou menores. Após a sua correção e verificação de conformidade, será dada autorização por um diretor para que seja concedida a certificação. Esta é a quarta etapa do processo de certificação.

As etapas seguintes destinam-se a um acompanhamento após certificação. Assim, na etapa 5, são agendadas auditorias de acompanhamento com seis ou doze meses de intervalo, durante as quais são estabelecidos planos de atuação com vista à melhoria da gestão energética e revistas as não conformidades analisadas na auditoria anterior.

Na última etapa, que acontece antes do final do terceiro ano da certificação, ocorre uma visita prévia para avaliar ou monitorizar as condições reais, e em caso de conformidade será emitido novo certificado. É a chamada renovação da certificação.

Uma empresa certificada apresenta, por este processo avaliativo, uma mais-valia, pelo facto de ter sido submetida a uma avaliação rigorosa externa à mesma, passando por uma auditoria que certificou os seus processos como sendo de qualidade. Estas empresas são credoras de maior confiança junto dos seus clientes.

Uma certificação implica sempre uma validação de que a empresa passou por um processo de auditoria que atesta a conformidade da sua atuação com altos padrões de qualidade.

Uma empresa que possui este tipo de certificação é percebida como uma organização comprometida com a sustentabilidade e com a redução do impacto ambiental de suas atividades. Além disso, a certificação pode aumentar a credibilidade e a confiança dos clientes e fornecedores na empresa, o que pode levar a um aumento das oportunidades de negócios. O diagrama da ISO 50001 está expresso na Figura 3.3.

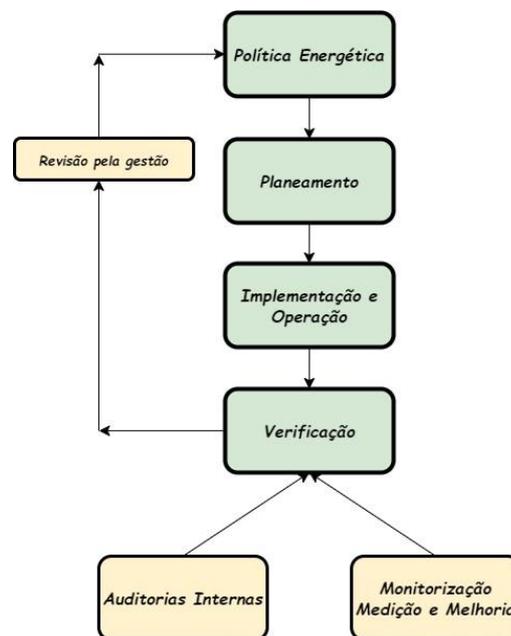


Figura 3.3- Cronograma do ISO 50001

3.3. Auditorias Energéticas

Apesar do elevado custo da energia, a fatura energética, normalmente, não se constitui como a maior fatia dos custos de uma empresa, uma vez que a matéria-prima e a mão de obra representam um consumo monetário superior. Talvez devido a esta variável, pode alguém ser tentado a concluir que é secundário o facto de uma empresa ter um bom sistema de gestão de energia, desvalorizando assim eventual desperdício energético.

Para se proceder à gestão racional de um sistema energético é necessário conhecer diversos dados sobre a instalação da mesma. É a este nível que a auditoria energética se afigura uma ferramenta muito importante. A auditoria energética tem ganho bastante notoriedade nos últimos anos devido à dinâmica que procura implementar, no sentido em que se torna possível obter o mesmo produto final sem que a qualidade seja afetada, mas consumindo menos energia. É neste plano que se insere a auditoria, avaliando o consumo de energia, a eficiência energética dos equipamentos e as eventuais perdas de energia. Desta avaliação resultará um conjunto de informações úteis a implementar, com o objetivo de se conseguir uma eficiência energética superior.

3.3.1. Metodologia

Conforme estabelece o Decreto-lei nº 71/2008 no seu artigo 6º, é obrigatório para os operadores que exploram instalações consumidoras intensivas de energia (CIE) proceder a uma auditoria energética. Considera-se CIE quando o consumo ultrapassa as 500 toneladas equivalentes petróleo/ano. Porém, qualquer entidade, mesmo que não seja CIE pode implementar a sua auditoria energética.

Conforme as características das instalações, existem dois tipos de auditorias energéticas, as auditorias preliminares e as auditorias detalhadas.

A auditoria preliminar consiste numa observação visual para identificar falhas e recolher dados de uma certa área da instalação, enquanto a auditoria energética detalhada implica o levantamento global de toda a situação energética de uma instalação, bem como a análise de todos os dados energéticos no complexo das áreas da instalação.



Tabela 3.1- Tipos de auditorias energéticas

Existe uma metodologia que deve ser seguida no procedimento de uma auditoria, devendo o gestor de energia adotar a mais correta, consoante a instalação.

A primeira fase de uma auditoria energética consiste na recolha de informação, no âmbito do consumo energético, custos energéticos, produção e dados financeiros, entre outros.

Na segunda fase procede-se aos cálculos dos indicadores energéticos, mencionados a seguir no capítulo 3.3.3.

O terceiro passo da auditoria consiste na identificação de possíveis medidas de eficiência energética, bem como a sua interligação com energias renováveis. Procede-se igualmente à contabilização das poupanças obtidas com a implementação das medidas de eficiência energética, assim como são estimados os tempos de retorno do investimento.

O último passo da auditoria é constituído pela elaboração de um relatório. Este deve conter a descrição da empresa, indicando o setor a que pertence consoante a Classificação Portuguesa das Atividades Económicas (C.A.E.) que é a classificação portuguesa das atividades económicas. [52]

Em seguida, é elaborado um resumo do processo produtivo e descritos os principais consumidores por fonte de energia. Além destes dados, os indicadores energéticos e económicos devem figurar nesta primeira parte do relatório.

Na segunda parte deste relatório, devem constar as recomendações para uma utilização mais racional da energia e a análise dos retornos de investimento, bem como o impacto das medidas sugeridas. No final do relatório deve figurar um Plano de Racionalização de Energia (PREn), com um cronograma de implementação das medidas, bem como o esperado ao longo dos 8 anos, como mencionado acima.

Após a sua aprovação por pela Agência para a Energia (ADENE), o relatório é apresentado à Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o qual, uma vez aprovado pela DGEG, toma a designação de Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE).

3.3.2. Aparelhos de medida

Durante a elaboração de uma auditoria é necessária a utilização de diversos equipamentos para que se possa proceder à recolha de dados da instalação.

Alguns desses aparelhos são apresentados de seguida.

Análise de temperaturas

Na caracterização de temperaturas de dispositivos onde ocorrem processos térmicos o equipamento mais utilizado são câmaras termográficas. Estes aparelhos medem a temperatura em múltiplos pontos da superfície dos dispositivos onde ocorrem os processos térmicos (e.g. caldeiras, fornos, secadores, etc) permitindo inferir se o isolamento térmico está instalado corretamente ou se existem fugas de calor. A identificação de fugas de calor permitirá proceder à sua correção, evitando assim consumo desnecessário de energia.

A termografia é um processo não invasivo, o que significa que não é necessário interromper a produção para realizar a verificação, até pelo contrário é necessário o equipamento estar ligado para se verificar o isolamento.

O equipamento utilizado para se proceder a uma termografia é a utilização de uma câmara termográfica (ver Figura 3.4).

Este aparelho é da marca TESTO, e possui uma gama de medição de temperatura entre os -50°C e os 350°C .



Figura 3.4- Câmara Termográfica

Este aparelho pode combinar imagens reais com imagens termográficas, para melhor identificação dos objetos, sendo que na imagem termográfica, através de uma escala de cores é possível ter-se uma ideia das temperaturas relativas das diferentes superfícies que surgem na imagem. As superfícies que apresentam as temperaturas relativas mais elevadas devem merecer uma atenção especial pois podem estar associadas a significativas perdas de energia

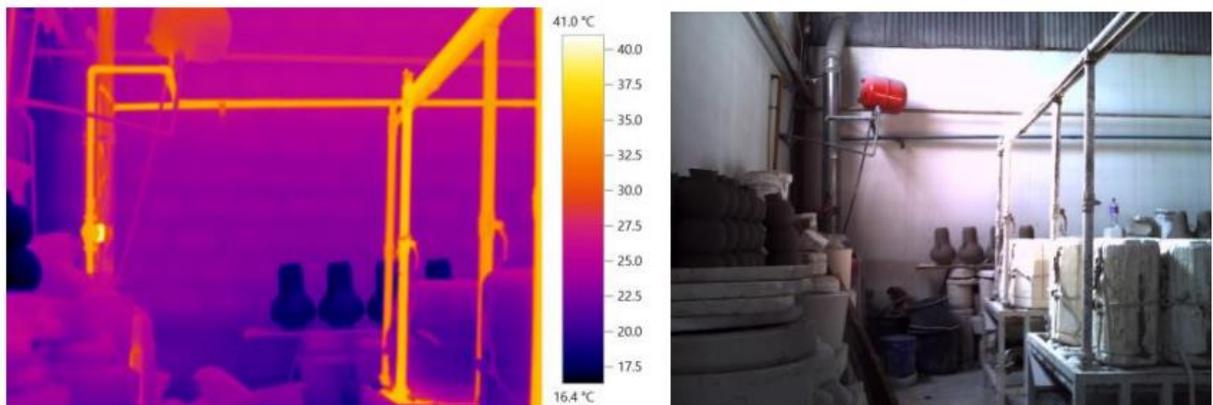


Figura 3.5- Imagem termográfica das condutas de águas sanitárias[41]

Na Figura 3.5, por exemplo, devem ser alvo de uma atenção especial as condutas por onde circulam as águas quentes sanitárias.

Análise do consumo elétrico

De forma a conhecer os consumos elétricos de uma instalação é necessário verificar os consumos de eletricidade nas zonas de maior consumo de energia elétrica, para isso são instalados analisadores de energia.

Um exemplo de um analisador de energia é o apresentado na Figura 3.6.



Figura 3.6-Analisador de Energia

Este analisador tem a capacidade de medir a tensão, a corrente nas três fases, verificar a relação entre tensão e corrente e calcular o fator de potência, entre outras características da rede elétrica. Além de todos os valores consegue analisar a qualidade da rede elétrica.

Para melhor compreender o tipo de informação que estes dispositivos permitem obter na Figura 3.7 é apresentado um resultado típico da utilização deste tipo de aparelhos na caracterização do modo como a energia elétrica é usada por um determinado sistema ou rede elétrica local.

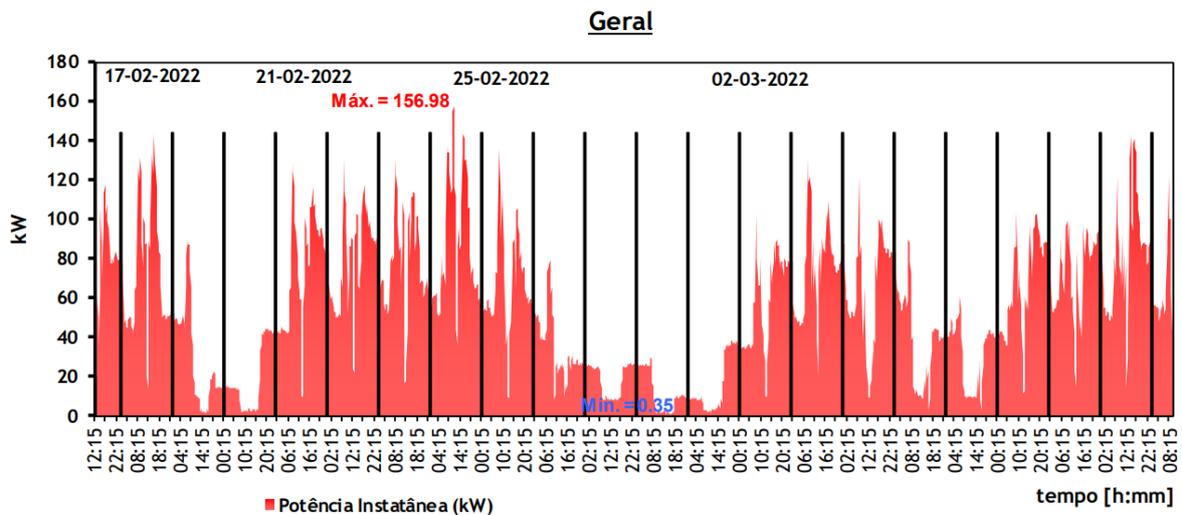


Figura 3.7- Diagrama de carga[41]

Este diagrama de carga indica a potência instantânea ao longo de um certo período. Na análise do modo como a energia elétrica é consumida numa unidade industrial (ou em parte dessa unidade industrial) deve ser escolhido pelo menos um período de uma semana completa, para abranger dias com e sem produção. Nestes últimos (sem produção) expectavelmente, o consumo de energia deve ser próximo de nulo pelo que um afastamento significativo face a essa referência pode ser sinal da existência de consumos parasitas para, por exemplo, alimentar os sistemas de produção e armazenamento de ar comprimido.

Além do analisador de energia, existem outros equipamentos muito importantes para se proceder à análise da rede elétrica, são as pinças amperimétrica (Figura 3.9) que possibilitam calcular a corrente elétrica que passa por um determinado cabo, os multímetros (Figura 3.8) que tem uma grande versatilidade pois conseguem analisar as mais diversas características da rede elétrica, de uma forma simples.



Figura 3.9- Pinça amperimétrica



Figura 3.8- Multímetro digital

Análise de gases

A análise dos sistemas de combustão exige, entre outras coisas, o recurso a um analisador de gases.

Este aparelho permite determinar a percentagem volúmica das principais substâncias, como o O_2 , N_2 , CO_2 , o CO e o SO_2 , presentes nos gases de combustão de um forno, caldeira, secador ou motor.



Figura 3.10- Analisador de gases

Análise de fugas de ar comprimido

A rede de ar comprimido muitas das vezes é desperdiçada, devido ao facto de corresponder a um custo de energia não muito elevado, comparado com as restantes máquinas.

Para se proceder a análise de fugas de ar comprimido pode usar o equipamento demonstrado na Figura 3.11 .



Figura 3.11- Detetor de fugas de ar comprimido

Este equipamento utiliza ultrassons de modo a verificar com maior exatidão as fugas de ar.

O procedimento de verificação de fugas deve ocorrer num ambiente o mais silencioso possível, de modo que o som do ambiente não interfira com os resultados.

No final este aparelho através dos ultrassons consegue calcular as perdas de ar comprimido e conseqüentemente calcular as perdas económicas, para melhor compreender o resultado final está demonstrado na Figura 3.12 uma fuga de ar comprimido.



Figura 3.12- Fuga de ar comprimido[41]

Como referido anteriormente é nos indicado o local exato da fuga na mangueira, que neste caso tem um custo de, aproximadamente, 28€ por ano.

3.3.3. Indicadores Energéticos

A determinação dos consumos de energia, se bem que absolutamente crucial para caracterizar o modo como a energia é usada numa unidade industrial, não é suficiente para aferir a eficiência do seu uso. A eficiência no uso da energia por parte de uma instalação industrial é dada através de parâmetros a que se convencionou chamar indicadores energéticos.

O SGCIE estabelece metas para três indicadores energéticos. Todas as empresas que tenham um consumo energético igual ou superior a 500tep/ano estão abrangidas pelo SGCIE, com objetivo de reduzir o consumo energético e posteriormente aumentar a eficiência energética. Os indicadores energéticos mais usuais são os que estão explícitos abaixo:

A intensidade energética (IE), que se calcula através do consumo total de energia primária, normalmente expressa em tep e o valor acrescentado bruto, exprime-se pela seguinte equação:

$$IE = \frac{\text{Consumo Anual Energético(tep)}}{\text{Valor Acrescentado Bruto(VAB em €)}} \quad (3.1)$$

O consumo específico de energia (CE) é outro indicador energético que é calculado dividindo o consumo anual de energia primária e o volume de produção da empresa.

$$CE = \frac{\text{Consumo Anual Energético(tep)}}{\text{Volume de Produção}} \quad (3.2)$$

Outro indicador é a intensidade carbónica (IC) relaciona-se com a emissão de GEE e é calculado através do quociente entre a quantidade anual de GEE emitidos pela empresa e o consumo energético.

$$IC = \frac{\text{Emissões totais(ton CO2eq)}}{\text{Consumo Anual Energético(tep)}} \quad (3.3)$$

No SGCIE está explícito que as empresas com um consumo de energia primária acima de 500 tep/ano e inferior a 1000 tep/ano têm de reduzir, no mínimo, a IE e o CE em 4% em 8 anos, mantendo a intensidade carbónica.

No caso de empresas com consumo superior a 1000 tep/ano a IE e o CE têm de ser reduzida, no mínimo, 6% no período de 8 anos, enquanto a intensidade carbónica se deve manter.

3.3.4. Cálculo do Valor Acrescentado Bruto (VAB)

O valor acrescentado bruto (VAB) é um indicador económico que identifica o valor criado por uma empresa, setor ou país durante um certo período de tempo. No caso das auditorias, o VAB é sempre referido ao ano anterior e calculado de acordo com a seguinte equação:

$$\begin{aligned} & \textit{Proveitos} = \textit{Vendas} + \textit{Prestações de Serviços} \\ & + \textit{Trabalhos para a própria entidade} + \textit{Rendimentos Suplementares} \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Custos} &= \text{Custos de mercadorias e das matérias primas consumidas} \\ &+ \text{Fornecimentos e serviços externos} \\ &\quad (3.5) \end{aligned}$$

Estas variáveis podem sintetizar-se através da seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{VAB} &= (\text{Proveitos} - \text{Custos}) \\ &\quad (3.6) \end{aligned}$$

Este indicador é determinante pois identifica o valor que uma determinada atividade económica adiciona à economia, na qual está inserida.

3.3.5. Relatório de Execução e Progresso

Após a realização de uma auditoria energética, é necessário proceder a uma verificação periódica das medidas sugeridas no PREn.

Nesta fase é necessário verificar e analisar todas as faturas de energia e os dados económicos relativos à produção e, necessários para o cálculo do VAB de modo a poder ser feita uma comparação com os indicadores no início da auditoria.

O relatório de execução e progresso (REP) tem de ser elaborado e entregue pelo operador à ADENE a cada 2 anos de vigência do ARCE. No REP é descrito o estado de implementação das medidas de poupança de energia que constam no ARCE, devendo nele contar quais metas e objetivos foram alcançados, bem como os desvios verificados e ainda as medidas de correção já implementadas ou a implementar.

O REP deve ser submetido no portal do SGCIE até ao dia 30 de abril do ano subsequente do biénio a que se refere.

O REP deve conter o ARCE, já com os dados atualizados. No caso de os indicadores não terem sido atingidos deve justificar-se esse facto e devem ser apresentadas medidas corretivas.

A não realização das medidas propostas podem ser implicadas multas ou taxas, ou também a perda de isenção do imposto sobre produtos petrolíferos (ISP).

4. ANÁLISE DA AUDITORIA

Compreender uma auditoria energética é um processo bastante complexo visto existirem diversas variáveis e características.

O relatório da auditoria energética deve começar por dar a conhecer a empresa, o produto que fabrica, a sua localização e todo o processo de fabrico de forma a dar um contexto a quem está a ler.

Após a introdução devem ser apresentados os dados relativos aos consumos de energia faturados e explicitado o tratamento que é feito dos dados brutos (de faturação). Também é nesta parte que os indicadores energéticos são calculados. Um quadro exemplo é apresentado na Figura 4.1.

CONSUMOS TOTAIS ANUAIS DE ENERGIA - Globais 2020								
TIPO	Unidades de medida	Quantidade Anual	ENERGIA				CUSTO	
			tep	GJ	% (GJ)	% (tep)	€	%
Energia Eléctrica	kWh	1 009 105	217.0	3 632.780	11.23%	24.03%	112 216.97	27.31%
Gás Natural	m ³ (n)	746 494	675.7	28 293.620	87.43%	74.82%	286 155.61	69.65%
Gasóleo	l	12 060	10.4	435.988	1.35%	1.15%	12 497.83	3.04%
TOTAL	-	-	903.1	32 362.388	100%	100%	410 870.41	100%

Figura 4.1- Consumo e custos energéticos[41]

De forma a completar o capítulo sobre consumos é elaborado um gráfico anual do consumo mensal de energia através da informação presente nas faturas. Tipicamente esses valores surgem acompanhados dos valores mensais relativos à produção para que se possa tentar correlacionar as variações do consumo com as variações da produção.

Um exemplo é a relação entre o consumo energético e a produção mensal ao longo de um ano, apresentado na Figura 4.2.

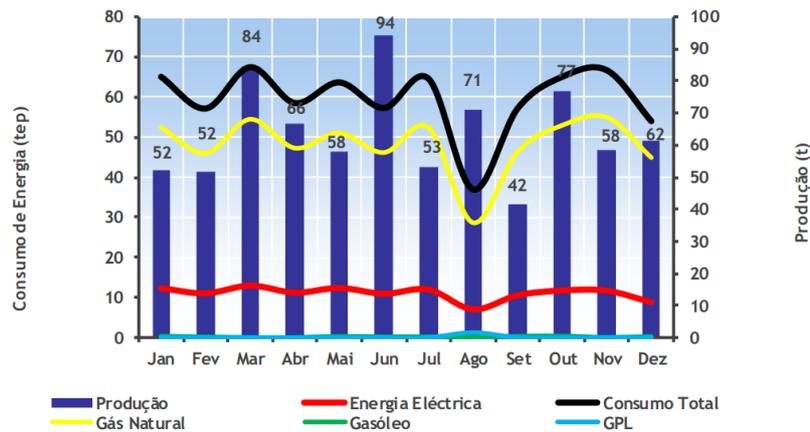


Figura 4.2- Variação do consumo mensal em função da produção[41]

Após dar a conhecer o consumo energético da instalação, é necessário desagregar o consumo pelos principais processos/equipamento que no caso da indústria cerâmica, são os fornos e os secadores. Depois de analisados todos os consumos, deve fazer-se a desagregação do consumo de energia por vetor energético consoante os principais consumidores.

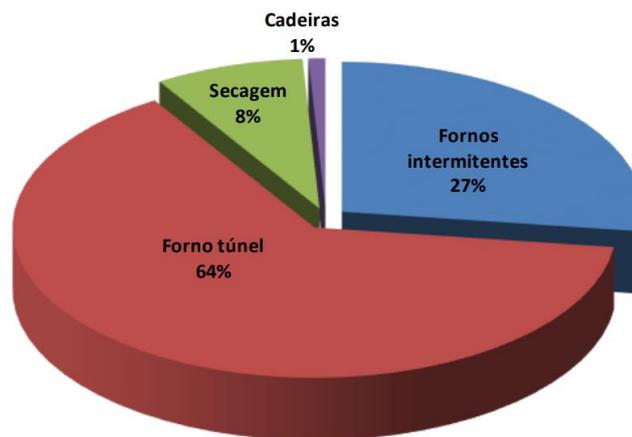


Figura 4.3- Desagregação de consumo de gás natural pelos principais processos[41]

Na Figura 4.3 está expresso um gráfico exemplo da desagregação do consumo de gás natural, neste caso numa instalação de produção de louça em faiança por monoczedura e bicozedura. No final da auditoria está presente o PREN, que já foi mencionado no capítulo anterior, onde estão calculadas e expostas as medidas a implementar, e que, depois de validadas pela ADENE se norma no ARCE.

4.1. Análise dos resultados

Na elaboração da presente dissertação foi decidido elaborar uma base de dados a partir das medidas de poupança de energia que constam dos PReN associados às auditorias energéticas realizadas no âmbito do SGCIE.

Na base de dados desenvolvida para a elaboração desta tese foram analisadas 35 auditorias referentes à indústria cerâmica. A maioria das auditorias foram realizadas no âmbito do SGCIE, no entanto para completar a base de dados foram adicionadas algumas auditorias realizadas a unidades industriais com consumo anual de energia primária inferior a 500 tep.

Os dados retirados são a entidade responsável por a auditoria, o ano de realização, a CAE (Classificação Atividade Económica), a localização da empresa, o número de empregados, as vendas, o consumo energético, a produção anual, e os indicadores energéticos.

Como foi mencionado anteriormente a indústria cerâmica abrange uma quantidade enorme de produtos e conseqüentemente uma diversidade de indústrias. Para distinguir as diversas atividades económicas, existe a CAE, que caracteriza todas as indústrias em Portugal.

A divisão é elaborada por fases, podendo ser divididas em duas partes, uma alfabética com apenas 1 nível (secção) e outra parte já numérica, neste caso conta com 4 níveis (divisão, grupo, classe e subclasse).

Na primeira parte as secções são divididas desde a letra *A* a *U*. A indústria cerâmica encontra-se na secção das *Indústrias transformadoras- Fabricação de outros produtos minerais não metálicos*, tal como o vidro, cimento, cal entre outros, à qual corresponde a letra *C*.

De acordo com a divisão que foi elaborada anteriormente entre cerâmica estrutural, utilitária e decorativa e técnica a divisão elaborada no CAE faz-se entre *Fabricação de produtos cerâmicos refratários*, *Fabricação de produtos cerâmicos para a construção* e a *Fabricação de outros produtos de porcelana e cerâmicos não refratários*.

Dentro destes grupos ainda existem classes e subclasses para abranger a maioria dos artigos de cerâmica. A título de exemplo a cerâmica de uso doméstico, que pode subdividir-se em faiança, porcelana e grés fino, corresponde ao subsector de cerâmica com maior representação na base de dados tem a seguinte designação no CAE:

Secção C- *Indústrias transformadoras- Fabricação de produtos minerais não metálicos*

Divisão 23	Grupo 23 4	Classe 23 41	Subclasse 23 412
Código CAE: 23 412			

A cerâmica pertence ao grupo dos principais consumidores de energia, e grande parte das empresas já se encontram abrangidas pelo SGCIE desde 2008, de modo que para que estes resultados estejam o mais perto da realidade irão ser analisadas as auditorias mais recentes. Na Figura 4.4, estão apresentadas o número de auditorias por ano consideradas na elaboração da base de dados.

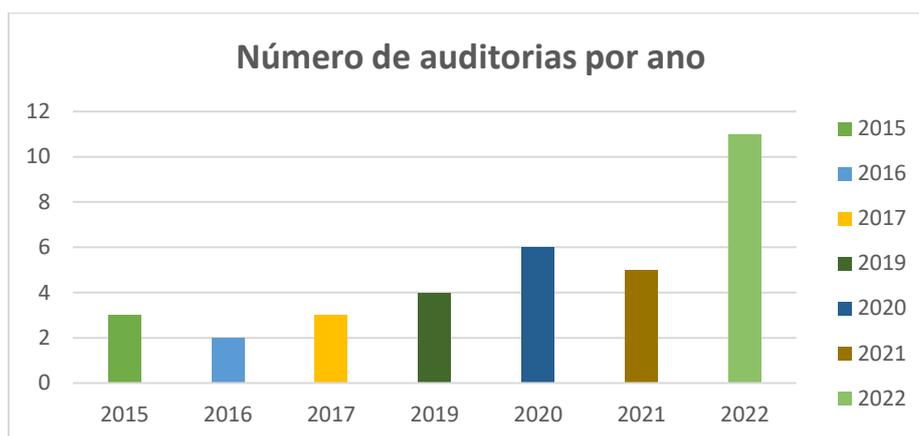


Figura 4.4- Número de auditorias por ano

Outro dado importante a salientar é o número de empresas por distrito, de modo a ter conhecimento onde se encontram as empresas da indústria cerâmica em Portugal.

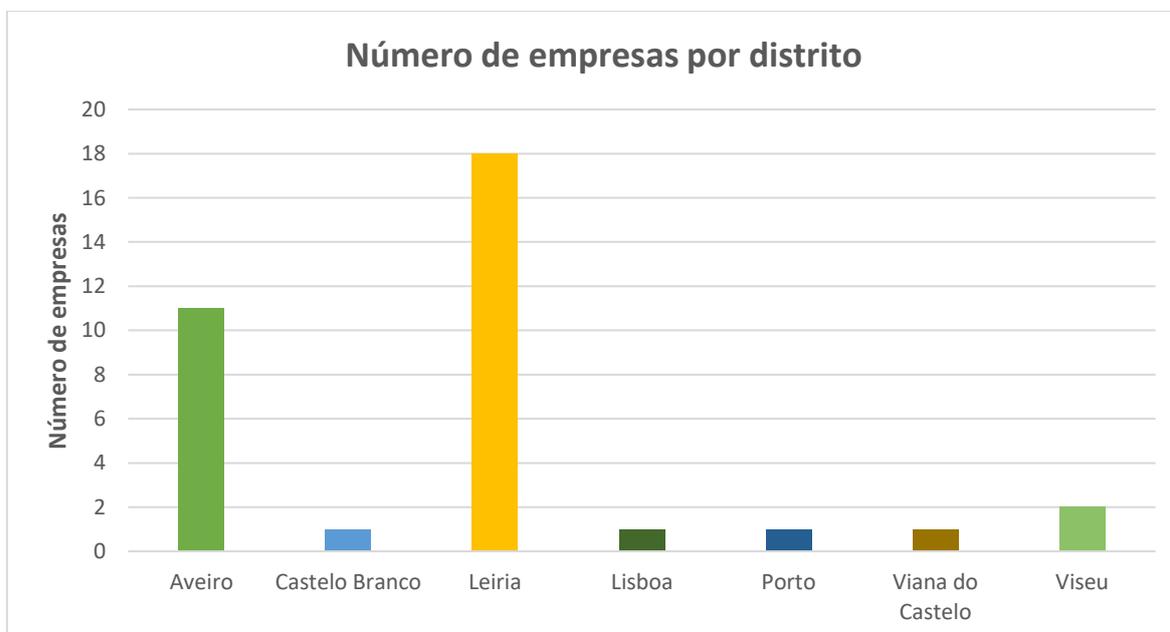


Figura 4.5- Número de empresas por distrito

Podemos salientar que a maioria das empresas deste setor se encontram localizadas no distrito de Aveiro e de Leiria.

Além dos dados estatísticos os dados económicos desta indústria são muito importantes, para isso estão presentes dois gráficos que indicam o número de empregados em cada distrito (Figura 4.6) e as vendas também selecionadas por distritos (Figura 4.7). Em relação a esta base de dados a indústria cerâmica emprega mais de 5400 pessoas, e apresenta um volume de negócios que ascende 300 milhões de euros de vendas anuais por respetivo ano.

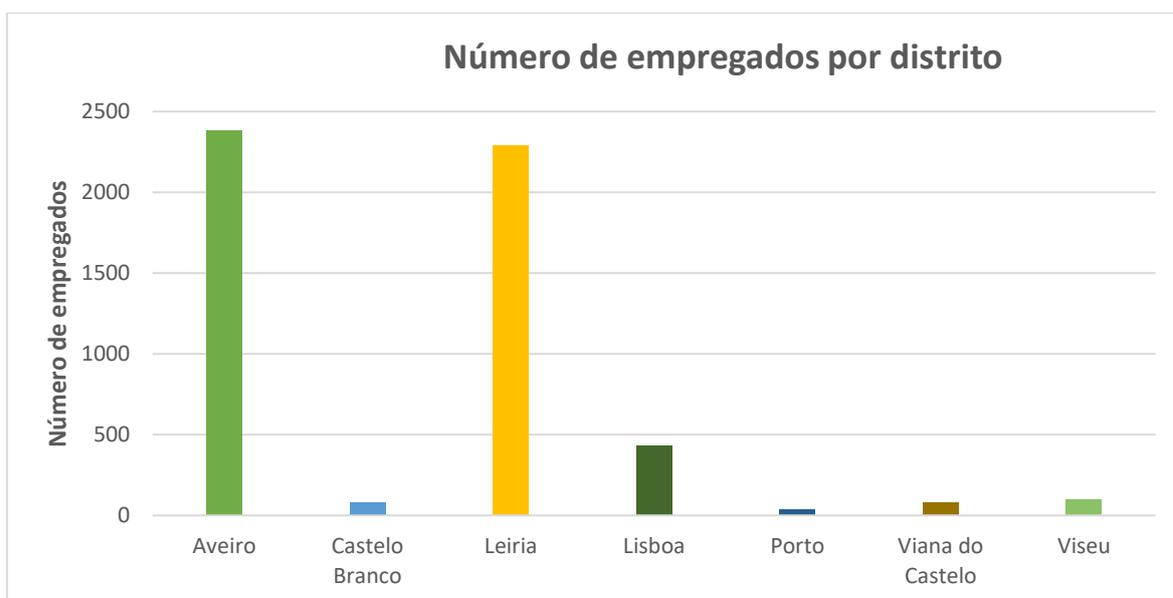


Figura 4.6- Número de empregados por distrito

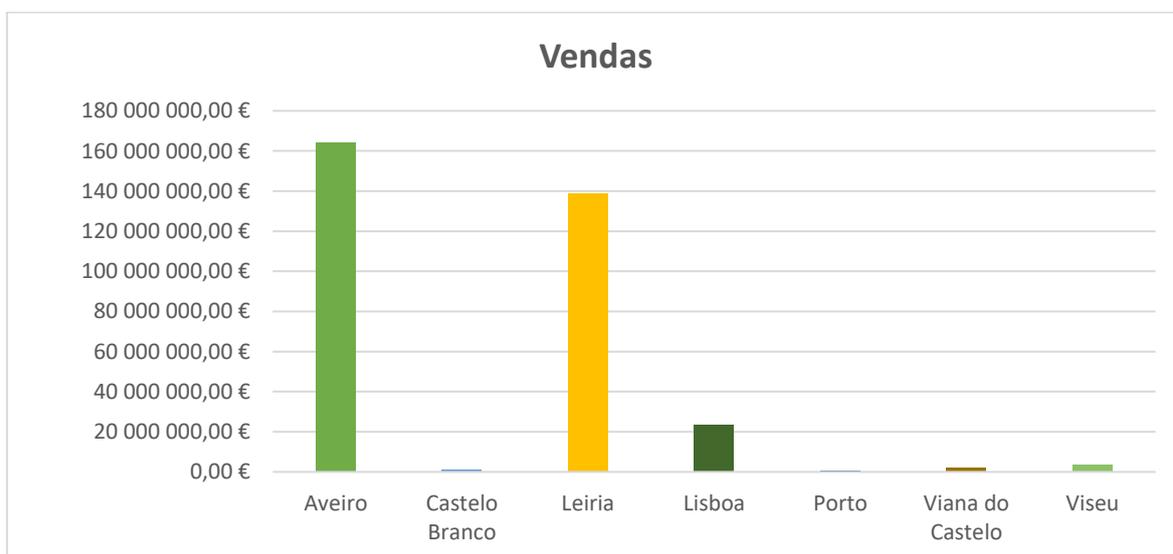


Figura 4.7- Volume de negócios por distrito

4.2. Indicadores Energéticos

Por norma, o consumo de energia é diretamente proporcional à produção, porém nesta base de dados isso não se verifica.

O consumo específico que representa a relação entre o consumo de energia (tep) e a produção (toneladas) na indústria cerâmica é muito distinto consoante o tipo de produto. Através da análise da Figura 4.8, o subsetor da cerâmica utilitária e decorativa apresenta um consumo específico muito superior do que os restantes subsectores, podendo apresentar uma diferença até 100 vezes mais elevada. Logo é muito importante separar a cerâmica consoante o seu produto.

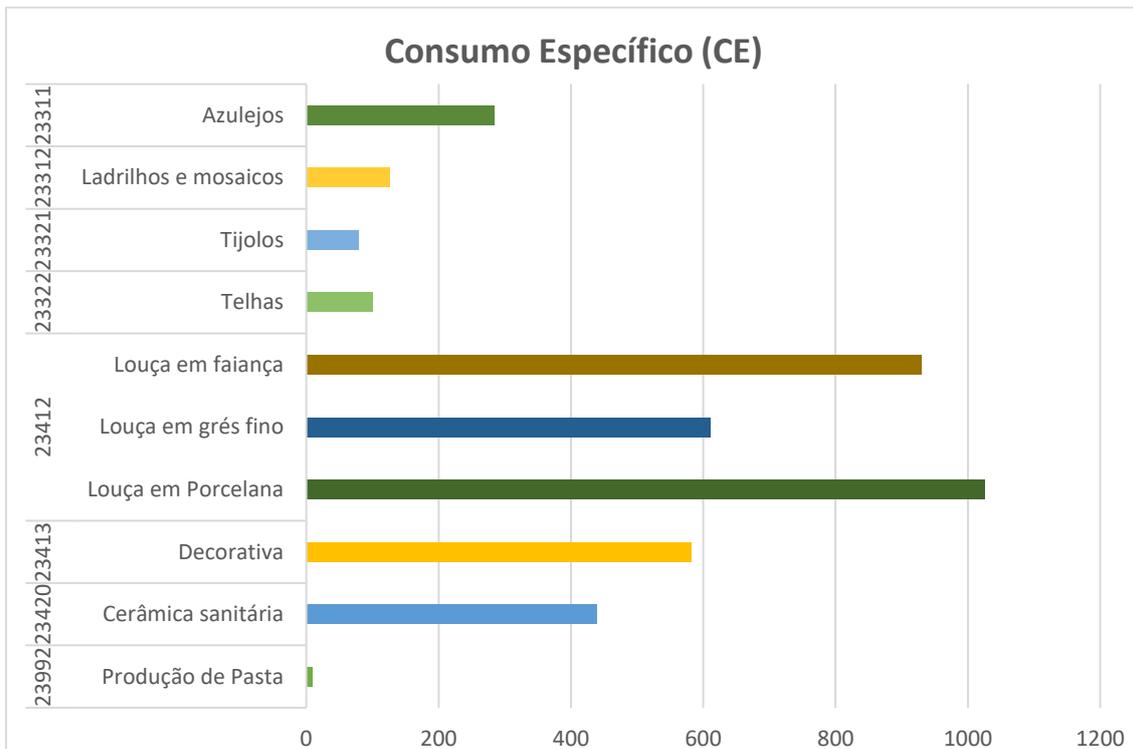


Figura 4.8- Consumo específico de energia primária por tipo de produto

Além do consumo específico, outro indicador obrigatório de calcular para a elaboração de uma auditoria é a intensidade energética, que relaciona o consumo de energia (tep) e as vendas (€), presente. Na Figura 4.9 são apresentados os valores da intensidade energética apurados nas auditorias energéticas incluídas nesta base de dados.

Neste gráfico também há uma diferença consoante o produto que se está a produzir, neste caso a produção de pavimentos e telhas, ou ladrilhos e mosaicos possuem valores superiores se compararmos com os restantes setores.

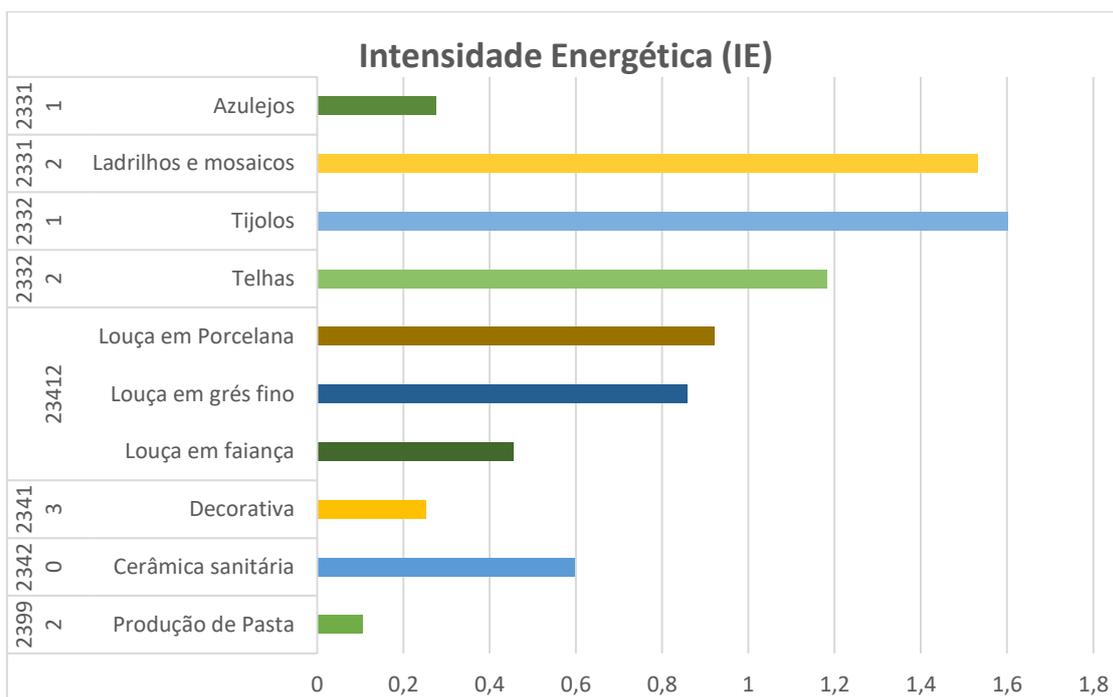


Figura 4.9- Intensidade energética por tipo de produto

Se for feita uma comparação entre o consumo específico a intensidade energética, que está presente na Figura 4.10, verifica-se que o subsetor da cerâmica utilitária e decorativa apresenta melhores resultados.

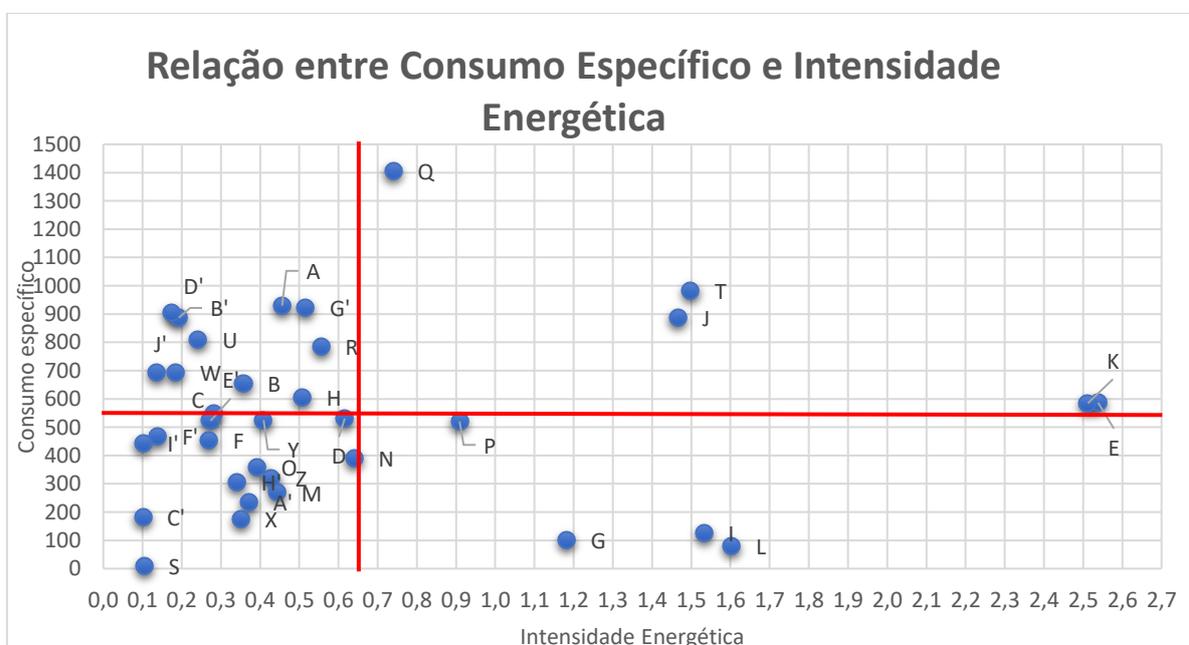


Figura 4.10- Relação entre Consumo Específico e Intensidade Energética

Se for adicionado um segundo eixo com a sua origem na média do consumo específico e intensidade energética respetivamente temos assim 4 grupos.

No grupo 1 (quadrante superior direito), estão presentes as instalações que possuem ambos os indicadores acima da média, o que representa as instalações com os piores indicadores.

No grupo 2 (quadrante superior esquerdo) neste grupo estão presentes as instalações com o consumo específico acima da média, mas a intensidade energética abaixo.

O grupo 3 (quadrante inferior esquerdo) que representa as instalações com os melhores resultados, em relação a esta amostra, pois os valores do consumo específico e intensidade energética possuem valores abaixo da média.

Por último no grupo 4 (quadrante inferior direito) encontram-se as instalações com consumo específico abaixo da média, porém possuem a intensidade energética acima.

Através da análise deste gráfico pode se concluir que a utilização de GNL (gás natural liquefeito) em vez de gás natural é uma desvantagem pois a instalação que apresenta o consumo deste combustível fóssil é uma instalação que se apresenta com os piores indicadores.

O último indicador energético utilizado é a intensidade carbónica, que relaciona o consumo de energia (tep) por emissões de CO₂, neste caso, o valor da intensidade carbónica representado na Figura 4.11, é bastante parecido em todos os subsetores da indústria cerâmica.

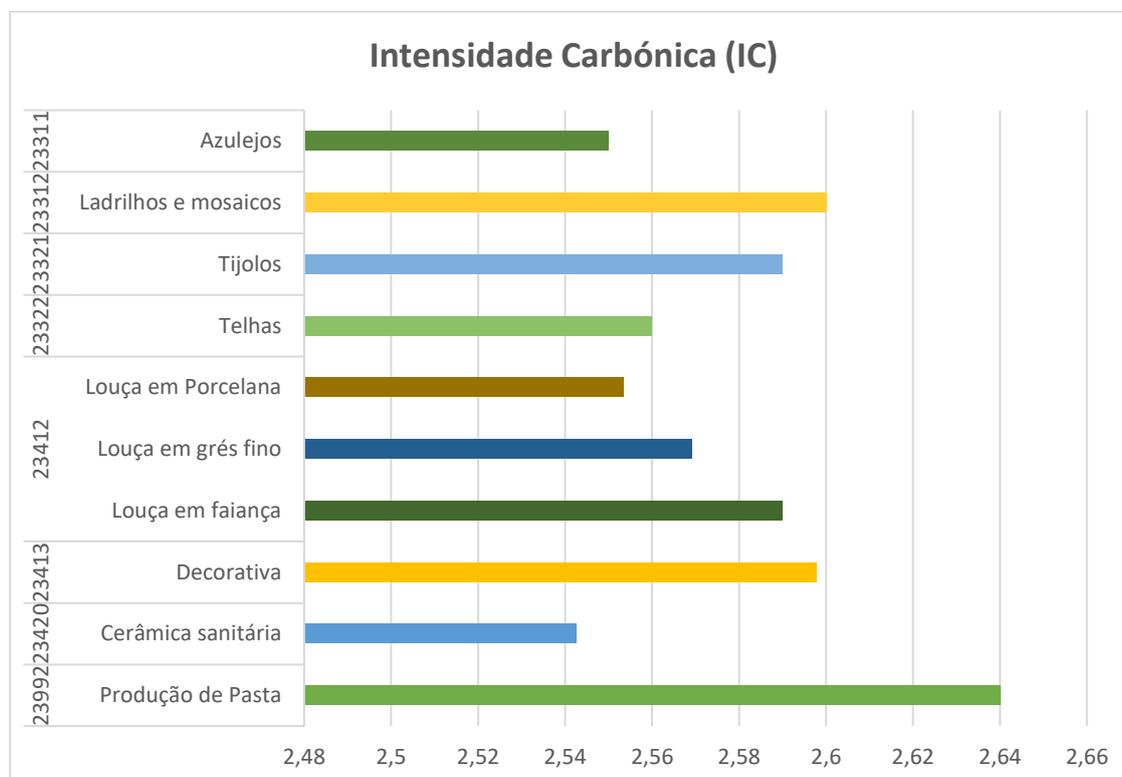


Figura 4.11- Intensidade carbónica por tipo de produto

5. MEDIDAS DE ECONOMIA DE ENERGIA

Como enunciado anteriormente, é imprescindível continuar a investir em tecnologias mais eficientes, e em todos os processos produtivos, pois desse investimento derivarão inúmeras vantagens, quer económicas, quer ambientais.

Numa empresa de cerâmica, há diversos processos que consomem bastante energia térmica, representando mesmo a maior parte do consumo, tais como fornos, secadores e atomizadores. Além da energia térmica, ainda existem outros processos que têm uma certa margem de redução de custos, como acontece nos motores eléctricos, iluminação entre outros, mas representam uma fatia menor no consumo energético.

Neste capítulo irei analisar estes processos e verificar onde há maior margem para o aumento da eficiência energética.

Com a ajuda do centro tecnológico da cerâmica e do vidro (CTCV), tive acesso a informações de diversas indústrias cerâmicas nas quais retirei as medidas mais comuns e com maior poupança energética. Foi escolhido dividir as medidas consoante a fonte de energia que se irá reduzir.

O resultado final da base de dados desenvolvida está representado na Figura 5.1

	Contagem	Poupanças	Poupança energética	Investimento (€)	Payback médio
Descrição	Descrição	económicas(€/ano)	(tep/ano)		
EE	44	5 524	17	9 930	1,44
Deteção e eliminação de fugas de ar comprimido	17	4 223	8	1 973	0,62
Instalação de compressores com baixa capacidade	1	7 230	15	260	0,04
Instalação de uma UPAC	3	29 498	134	110 678	3,90
Redução da pressão de produção de ar comprimido	3	4 091	9	167	0,01
Redução dos tempos de funcionamento dos agitadores da vidragem	1	4 263	6	176	0,05
Sistema de monitorização dos principais consumidores de energia elétrica	1	9 074	19	12 850	1,57
Substituição das luminárias por LED	12	3 963	7	6 817	1,79
Substituição de compressores por um compressor de velocidade variável	2	6 683	9	21 883	6,55
Instalação de um VEV num motor	3	1 416	4	1 933	1,39
Substituição por um motor de alta eficiencia	1	8 739	18	26 950	3,09
GN	38	20 414	49	30 380	2,33
Ajuste do ciclo de cozedura do forno de vidro e redução do tempo de cozedura	1	5 231	10	1 109	0,22
Instalação de controlo dos queimadores	1	5 643	13	2 160	0,39
Instalação de ventiladores de distribuição de ar quente	1	19 750	7	4 226	2,14
Isolamento das condutas de água quente	2	1 264	1	1 049	1,91
Otimização do forno de chacota	1	47 859	182	13 911	0,30
Sistema de monitorização dos contadores de GN	7	7 407	15	13 269	3,17
Substituição da mobília refratária das vagonas	2	15 055	54	70 850	5,54
Substituir um forno intermitente por um mais eficiente	1	8 580	15	85 000	9,90
Reaproveitamento de calor	15	29 060	75	42 577	1,48
Sistema de monitorização da temperatura e humidade das câmaras	1	32 537	69	35 000	1,08
substituição dos queimadores	1	12 397	20	96 410	7,78
Substituição de isolamento	3	6 546	20	8 766	2,35
Afinar processo de combustão dos queimadores	2	51 849	70	7 500	0,24
GNL	2	10 737	7	700	0,08
Recuperação da extração de gases para a estufa	1	14 158	10	700	0,05
Recuperação da extração de gases para a Roller	1	7 315	5	700	0,10
(em branco)	1				

Figura 5.1- Medidas mais comuns na indústria Cerâmica

As recomendações mais utilizadas para a redução de energia elétrica são: a deteção e eliminação de fugas de ar comprimido, a substituição da iluminação tradicional por tecnologia LED e também a utilização dos motores elétricos de uma forma mais eficiente.

Já as medidas mais comuns no que toca ao gás natural são: reaproveitamento de calor de um processo para outro, instalação de sistemas de monitorização do consumo e a substituição de isolamento de fraca qualidade por outro de qualidade superior.

Um dado curioso que se pode retirar desta tabela, é que quanto maior as poupanças económicas e ambientais, maior o investimento, daí a importância do investimento de capital neste tipo de tecnologias.

Contagem de Descrição	Poupanças económicas(€/ano)	Poupança energética (tep/ano)	Investimento (€)	Payback médio	
Total Geral	85	1 034 749,19 €	2610	1 582 848,60 €	1,81

Figura 5.2 - Resumo das medidas

Se todas as medidas apresentadas forem aplicadas, que neste caso correspondem a 85, as poupanças económicas anuais são de 1 034 749,19 € e uma redução energética anual de 2 610 tep, estes dados estão apresentados na Figura 5.2. Dentro destas medidas há umas mais vantajosas com retorno de investimento inferior a um ano, como por exemplo as medidas relacionadas com as fugas de ar comprimido, porém também existem medidas que possuem

um retorno de investimento muito superior, a substituição de um forno para um mais eficiente neste caso possui um payback de praticamente dez anos, esta medida só deve ser implementada quando o forno antigo se danificar.

5.1. Cozedura

Nos processos térmicos, se o isolamento for fraco, ou de má qualidade pode causar um consumo excessivo de energia, o que tem como consequência o aumento do custo de produção.

Existem diversos tipos de fornos, os fornos contínuos, de rolos e intermitentes, sendo os contínuos, os que consomem mais energia.

5.1.1. Fuga num forno contínuo

Uma medida que é sugerida diversas vezes nesta base de dados, consiste na instalação de um sistema de monitorização do gás natural. Com a monitorização do consumo é possível detetar eventuais fugas de calor.

Estas fugas podem ocorrer por diversos motivos sendo eles, o desgaste, envelhecimento do equipamento, choques térmicos, vibrações mecânicas, ou erros de fabricação. Quanto mais cedo estas fugas forem solucionadas menores serão as perdas. Se este tipo de problemas não for solucionado pode causar danos aos equipamentos, comprometida a qualidade do produto final, e em casos mais extremos, até pode colocar em risco a segurança dos trabalhadores.

Durante a visita a uma empresa de cerâmica, foi possível detetar uma fuga, através da utilização de uma câmara termográfica (Figura 3.4), tornando possível a medição das temperaturas.

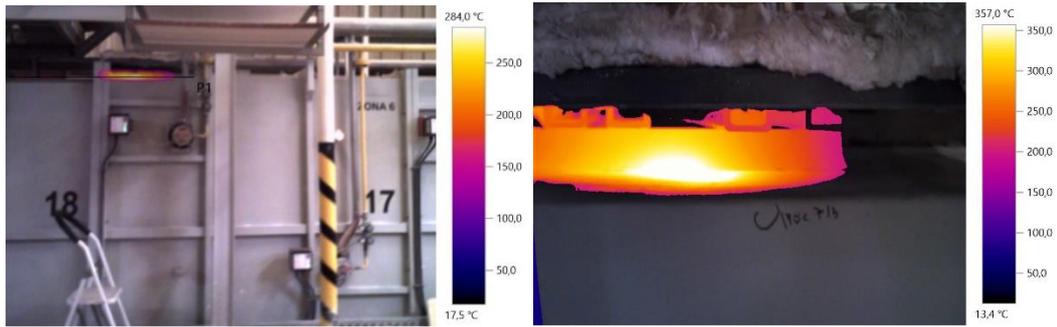


Figura 5.3-Fuga no forno contínuo[41]

O âmbito de funcionamento do sensor de temperatura da câmara está compreendido entre os -50°C e os 350°C .

O limite superior da câmara termográfica é de 350°C , pode visualizar-se uma parte da imagem interpretável como havendo uma fuga em que a temperatura ultrapassa os 350°C .

5.1.2. Reaproveitamento do calor

Além da monitorização do consumo de gás natural, uma medida comum consiste no reaproveitamento de calor do ar de arrefecimento. Este calor em vez de ser desperdiçado é utilizado num outro processo como por exemplo a secagem ou aquecimento de águas sanitárias, pois neste caso a temperatura não excede os 100°C .

5.1.3. Método para melhorar a eficiência do processo térmico

Durante os processos térmicos a transferência de calor pode ocorrer através de três formas distintas, sendo elas, a condução, a convecção e a radiação.

As medidas mais comuns relacionadas com o processo térmico são a redução de tempo de cozedura, otimização do oxigénio na combustão e por fim a troca dos tabuleiros refratários das vagonas.

5.2. Isolamento nas condutas de água quente

Além do bom isolamento do forno, uma medida complementar consiste no bom isolamento das condutas de circulação dos fluídos térmicos.

Posto isto, é sugerido possuir um bom isolamento das condutas. Na figura abaixo é apresentada uma situação ilustrativa de uma conduta de distribuição de água quente sem qualquer tipo de isolamento. Com um bom isolamento a energia térmica desperdiçada era inferior.

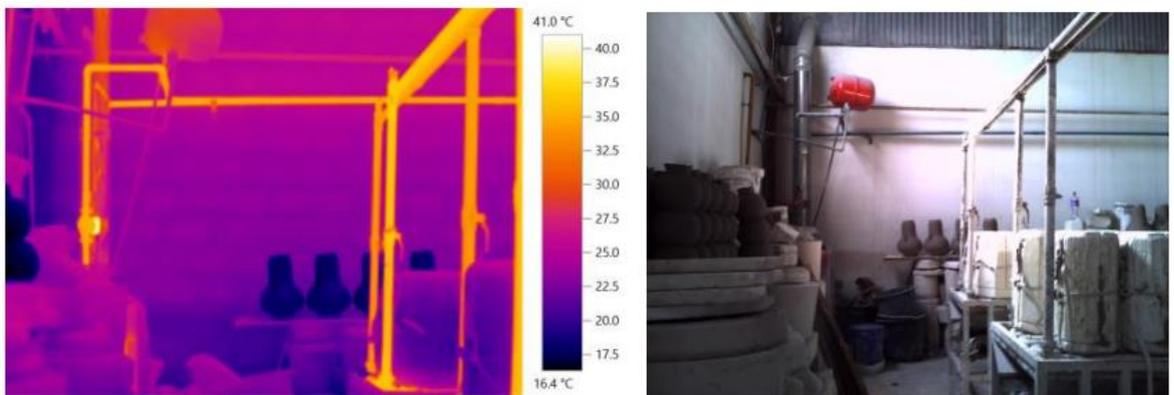


Figura 5.4-Conduitas de água quente sem isolamento[41]

5.3. Atomização

Os atomizadores, a par dos fornos, fazem parte do grupo de equipamentos que mais energia consomem na indústria cerâmica.

Estes equipamentos destinam-se a transformar uma mistura aquosa, denominada “barbotina”, formando um conjunto de partículas, de forma a retirar-lhes humidade e a permitir que se depositem num suporte ou molde. Esta transformação ocorre no interior do atomizador, que está a uma temperatura bastante elevada, de modo a formar um pó com características de fluidez e com grau de humidade adequada ao objetivo que se pretende.

Na termografia representada na Figura 5.5, também disponibilizada pelo CTCV, pode verificar-se a existência de uma fuga de calor que, uma vez reparada, levou a uma poupança energética significativa.

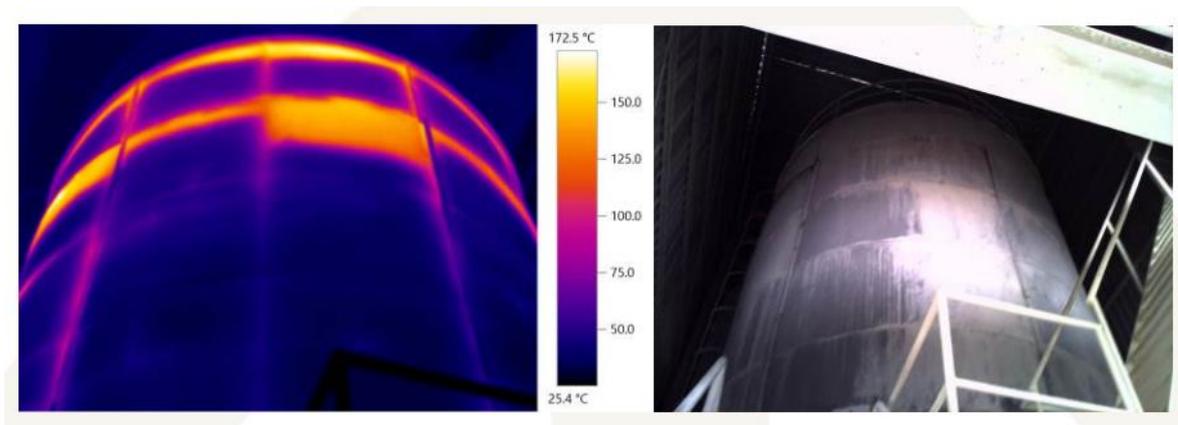


Figura 5.5- Fuga de calor num atomizador[41]

Em casos mais extremos, quando a eficiência do processo não consegue ser alterada, é sugerida a troca dos fornos para fornos mais eficientes, o que reduz o consumo energético.

5.4. Processos transversais na indústria

Há diversos processos, transversais a todas empresas, em que se torna possível aumentar a eficiência energética da instalação, os quais, ao contrário dos processos anteriores, não incidem apenas sobre a indústria cerâmica.

5.4.1. Energia reativa

Nos sistemas elétricos de corrente alternada existem três tipos de potências.

A potência elétrica ativa, expressa em *Watts(W)*, é a potência efetiva que é transformada em trabalho útil, calor ou luz, dependendo do objetivo final.

A potência elétrica reativa, quantificada em Volt Ampere Reativa (VAR), é a potência elétrica que não é convertida em trabalho útil, mas sim armazenada e depois libertada. É necessária em alguns componentes, como em motores, transformadores, entre outros, sendo responsável pelo movimento de energia elétrica nos componentes de um circuito. Deve ter-se presente que, em excesso, pode causar problemas como quedas de tensão e instabilidade na rede. Por isso é normal a utilização de bancos de condensadores para evitar problemas de operação, e, caso essa energia reativa seja muito elevada, pode levar a custos extra por parte do fornecedor de energia, visto ser necessário o sobredimensionamento das linhas, o que pode causar problemas de fornecimento de energia elétrica.

A potência elétrica aparente, expressa em Volt Ampere (VA), é a soma vetorial da potência ativa e da potência reativa.

Além das potências, é necessário conhecer o fator de potência, que é o $\cos \varphi$, valor compreendido entre 0 e 1. Quando o $\cos \varphi = 0$, a potência ativa é nula e a potência reativa é máxima. Pelo contrário quando $\cos \varphi = 1$, a potência ativa é máxima e a potência reativa é nula.

O triângulo de potências está representado na figura abaixo:

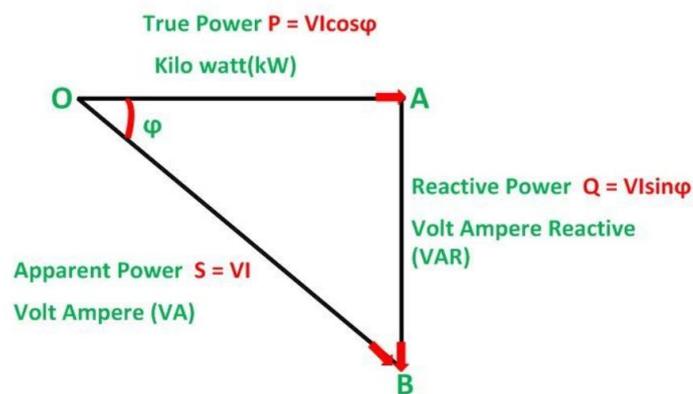


Figura 5.6- Triângulo das potências[53]

Muitas vezes a energia reativa é desprezada, nas instalações, porém é bastante importante, para evitar custos desnecessários, na fatura de eletricidade.

5.4.2. Motores elétricos

Na indústria cerâmica são utilizados motores elétricos em diversos equipamentos e processos, como acontece nos ventiladores dos fornos intermitentes, e nas prensas de formatação, entre outros. Os motores assíncronos AC são muito versáteis, porque possuem variedade de potência, robustez, durabilidade, baixa poluição e custos de aquisição relativamente baixos.

Quando se procede à compra de um novo motor é necessário ter em conta todos os custos, desde o investimento inicial, os custos de operação, até aos custos de manutenção.

Segundo a empresa ABB, que se dedica á produção de componentes elétricos, o custo inicial de um motor é inferior a 3%, enquanto o custo de trabalho corresponde a cerca de

70% a 95%. Por sua vez os custos associados à manutenção e à não utilização podem variar entre 2% e 30% do total de custos.



Figura 5.7- Custo de um motor elétrico[54]

Em 1990, foi estabelecido um acordo voluntário entre a CEMEP (Associação Europeia de Fabricantes de Motores Elétricos) e a Comissão Europeia para classificar os motores elétricos. Este acordo aplicava-se apenas aos motores elétricos com potência entre 1,1 kW e 90 kW e com 2 ou 4 polos.

Os motores foram classificados de acordo com o seu rendimento:

EFF1 – Motores de alto rendimento

EFF2 – Motores de rendimento aumentado

EFF3 – Motores sem qualquer requisito especial

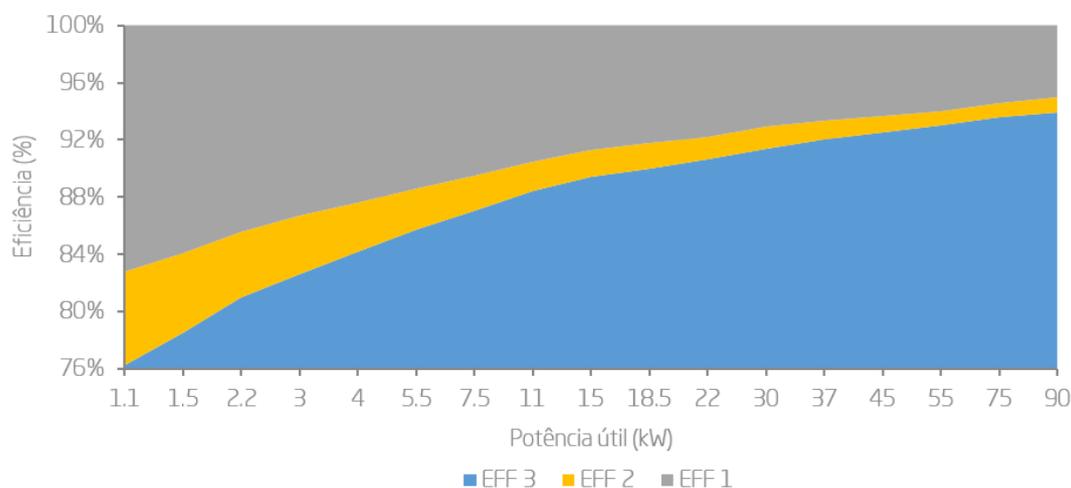


Figura 5.8- Tabela de rendimentos dos motores elétricos[55]

O objetivo era promover a eficiência energética, estabelecendo padrões mínimos de desempenho para esses motores. Essa iniciativa ajudou a impulsionar a adoção de motores elétricos mais eficientes e a reduzir o consumo de energia em toda a Europa. Desde então, a regulamentação na área de eficiência energética de motores elétricos tem evoluído e se expandindo-se para outras faixas de potência e outros tipos de motores elétricos.

Em março de 2014, a norma CEI/EN 60034-30:2008 sobre as classes de eficiência dos motores elétricos foi atualizada para a IEC 60034-30-1:2014. Nesta atualização, foi adicionado um nível adicional de eficiência, o nível IE4, que representa o mais alto nível de eficiência energética para motores elétricos. Os motores elétricos IE4 são projetados para terem um rendimento mais elevado, o que significa que consomem menos energia elétrica para produzir a mesma quantidade de trabalho, quando comparados com os motores elétricos menos eficientes.

Esta última norma divide os motores da seguinte forma:

- IE1 - Eficiência standard
- IE2 - Eficiência elevada (corresponde aos EFF2)
- IE3 - Eficiência premium (corresponde aos EFF1)
- IE4 - Eficiência superior às anteriores

Já nesta designação estão abrangidos quase todos os motores elétricos, o que não acontecia com a norma anterior.

Em instalações mais antigas, ainda é muito usual a utilização de motores elétricos já ultrapassados por serem muito fiáveis, não sendo por isso necessário proceder regularmente à sua substituição.

5.4.3. Iluminação

Na auditoria a uma empresa, é habitual proceder-se à verificação do sistema de iluminação, sugerindo-se a substituição de eventual sistema menos eficiente por um outro mais económico e mais eficiente como é o caso do sistema LED.

Para compreender melhor a diferença entre a tecnologia LED e a incandescente, pode usar-se uma unidade de comparação, o lúmen, que corresponde à unidade de fluxo luminoso, ou seja o quanto uma lâmpada é capaz de iluminar um certo espaço. Quanto mais alto for o valor em lúmens mais intensa é a luminosidade emitida.

O lúmen é medido em lm. No caso do LED corresponde a 75-110 (Lumens/Watt), enquanto a incandescente corresponde a cerca de 12-18 (Lumens/Watt), ou seja, há uma diferença a favor da tecnologia LED de aproximadamente 7 vezes mais eficiente do que a tecnologia mais antiga (a incandescente), o que no final causa uma redução significativa no consumo de energia elétrica.

Light Source	Luminous Efficacy (Lumens/Watt)
Incandescent	12-18
Halogen	10-20
LED	75-110

Figura 5.9- Eficiência das várias tecnologias de iluminação[56]

Além de se alterar a tecnologia de produção de iluminação, outro setor a considerar é o de uma melhor gestão de iluminação.

Uma situação muito frequente é o estarem demasiadas luminárias ligadas para uma determinada zona de trabalho. Uma boa gestão pode prever redução de custos.

A este nível, uma boa proposta seria a adição de um sensor de iluminação e de movimento, para que as luzes só estejam ligadas quando necessário.

5.4.3.1. Má gestão da iluminação de uma unidade fabril

Durante a visita a uma unidade fabril, foi detetada a existência de um problema de gestão de energia, visto existirem luminárias ligadas desnecessárias, o que se traduzia num consumo de energia elétrica desnecessária. Ligar apenas as luzes necessárias, e quando necessário, constituirá a melhor opção, por diminuir o consumo energético.

5.4.4. Fugas de ar comprimido

Atualmente o custo da energia desperdiçada no ar comprimido não é desprezável, e é muito comum a verificação das tubagens de modo a eliminar as suas fugas. Na base de dados desenvolvida é uma das medidas mais comum, visto ser de fácil reparação e com enormes vantagens para o utilizador.

Ainda em relação à produção de ar comprimido, uma medida a considerar consiste na instalação de um variador de velocidade no compressor de modo que o seu rendimento seja o melhor possível, tal como é sugerido às vezes a instalação de um variador de velocidade nos motores elétricos.

5.4.5. Monitorização de energia

Uma das escolhas mais eficazes e muitas vezes desprezadas passa por uma boa gestão de energia consumida pelos equipamentos. Para que essa gestão ocorra é necessário instalar sistemas de medição energética de fácil compreensão e ligados à internet.

Estes sistemas permitem dar a conhecer o consumo de energia, o qual pode ajudar a identificar oportunidades para melhorar a eficiência energética e porventura reduzir o consumo energético.

É importante que as informações disponibilizadas pelos sistemas de monitorização sejam analisadas e utilizadas para efetuar medidas de gestão energética. Caso estes sistemas sejam instalados, mas não seja nada alterado, não se verifica melhoria de eficiência energética.

É necessário incluir todos os colaboradores promovendo a conscientização sobre a importância da eficiência energética e incentivando ações para reduzir o consumo energético.

Com este tipo de sistemas é possível programar remotamente o funcionamento de diversas cargas, como a iluminação, motores, ventilação e outros...

A instalação de sistemas de monitorização energética em todos os equipamentos é um passo para uma boa gestão eficiente e sustentável, porém tem de ser combinado com outras medidas para alcançar uma gestão de energia eficaz.

6. Novas tecnologias para a descarbonização da indústria

Como referido no capítulo anterior, o maior obstáculo à redução de GEE na indústria cerâmica está no processo transformação de energia térmica, visto ser onde ainda se observa a ausência de tecnologias que possam diminuir as emissões.

Neste capítulo irão ser analisadas as tecnologias alternativas aos atuais fornos a gás natural.

Atualmente, o gás natural é a principal fonte de energia na indústria cerâmica, visto ser a tecnologia mais económica até aos dias de hoje. Em contrapartida, também representa o maior emissor de GEE na indústria cerâmica.

Para resolver este problema, encontram-se em estudo novas formas de produção de calor a utilizar nos fornos, como a utilização de energia elétrica, ou a adição de hidrogénio nas atuais redes de gás natural, ou mesmo sistemas híbridos entre energia elétrica e hidrogénio, para que as emissões de GEE reduzam.

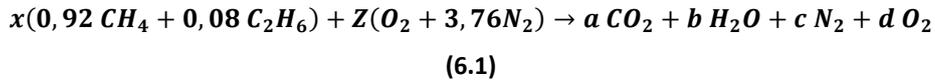
A junção de duas fontes de energia num forno pode causar alguns obstáculos, mas também aproveita ambos os benefícios das tecnologias.

Quando são realizados testes com novas tecnologias, há vários testes que tem de ser efetuados, como a qualidade do produto, se o ciclo de vida do produto se mantém, bem como a fiabilidade dos fornos.

6.1. Forno com injeção de hidrogénio

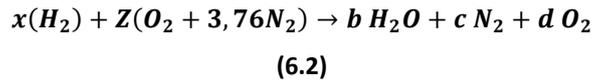
Uma das tecnologias que se tem mostrado promissora para o futuro tem sido o forno com utilização de hidrogénio.

A equação da combustão do gás natural que neste caso foi considerada por 92% de CH_4 e 8% C_2H_6 , de uma forma simplificada está representada abaixo:



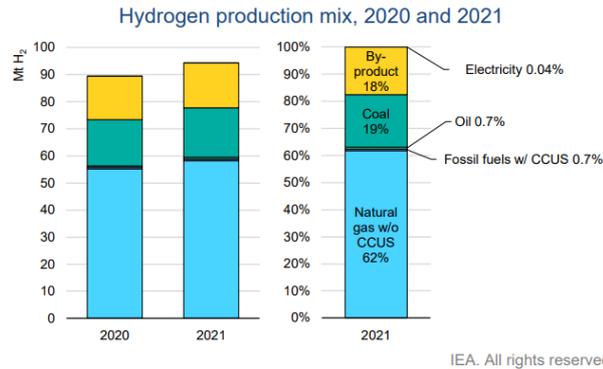
Na queima do gás natural, há a produção de CO₂, o principal causador do GEE.

Se o gás natural for substituído por hidrogénio, não há a produção de CO₂, como é possível observar por a equação abaixo:



Se fosse possível fazer uma substituição do gás natural por hidrogénio, no processo de combustão deixaria de existir a produção de CO₂, porém existe um obstáculo, que não deve ser ignorado, que está relacionado com o facto do (Poder Calorífico Inferior) PCI do hidrogénio ser inferior ao gás natural, logo é necessário aumentar a porção de hidrogénio presente na equação, de forma, a que a qualidade do gás combustível e o seu poder calorífico não seja afetado. Como as instalações foram dimensionadas para o transporte de gás natural, há um limite da quantidade de hidrogénio que pode ser adicionado.

Outro obstáculo do hidrogénio está relacionado com a sua forma de produção. O hidrogénio tem diversas formas de ser produzido: pode sê-lo a partir de combustíveis fósseis, a partir da eletrólise da água, ou através da biomassa. A maioria do hidrogénio produzido atualmente ocorre a partir do metano, ou da biomassa. De acordo com o “Global Hydrogen Review 2022” publicado por a International Energy Agency (IEA),[57] a maioria da produção provém a partir de combustíveis fósseis, e apenas uma pequena percentagem é produzida sem impacto ambiental, como está demonstrado na Figura 6.1, se o hidrogénio for produzido por eletrólise da água com utilização de fontes de energia renováveis, pode ser considerado um combustível limpo, sem emissão de GEE, sendo esta tecnologia a que se deposita maior confiança para a substituição do gás natural. Ao hidrogénio produzido através da eletrólise da água, com a utilização de energias renováveis, dá-se o nome de hidrogénio verde.



Note: CCUS = carbon capture, utilisation and storage.

Figura 6.1- Produção mundial de hidrogénio[57]

Apesar de todos os obstáculos, o hidrogénio possui diversas vantagens como ser um recurso despachável, ou seja, pode ser queimado, é fácil de transportar, através da tecnologia de pilhas de combustível é possível armazenar energia.

Esta tecnologia demonstra muitas semelhanças com os atuais combustíveis fósseis.

6.2. Fornos elétricos

Outra alternativa aos atuais fornos de gás natural poderá passar por a substituição dos fornos a gás natural para fornos elétricos, se a energia elétrica resultar de energias renováveis as emissões de gases de efeito de estufa são praticamente nulas.

Atualmente ainda são utilizados muitas vezes fornos elétricos, mas é usada esta tecnologia para pequenas aplicações, visto o investimento inicial ser inferior do que fornos com queima de gás natural. Já em grande escala o investimento de fornos elétricos é mais elevado, fazendo com que sejam menos utilizados, principalmente os fornos contínuos presentes na cerâmica são de queima de gás natural.

Os fornos elétricos possuem inúmeras vantagens como ser facilmente programável, e com rendimentos elevados.

Existem várias tecnologias de fornos elétricos, sendo os mais utilizados os seguintes:

6.2.1. Fornos de resistência

Quando uma corrente elétrica passa por uma resistência, esta é oposta ao seu fluxo. Durante este processo ocorrem perdas, que são dissipadas por via de calor. O mesmo

funcionamento ocorre nestas resistências de aquecimento. O aquecimento pode ser efetuado através de dois métodos distintos por condução direta ou indireta.

O aquecimento por condução direta não é aplicável à cerâmica, visto ser um material não condutor de energia. O método que poderá ser aplicado à cerâmica poderá passar por a condução indireta, pois é possível aquecer a carga mesmo não sendo condutora, atualmente este método é utilizado no tratamento térmico de materiais, secagem, no fabrico de alimentos entre outros.[58]

Um exemplo de uma resistência de aquecimento está apresentado na Figura 6.2.



Figura 6.2- Resistência elétrica[59]

6.2.2. Fornos micro-ondas

Os fornos micro-ondas têm três principais vantagens, em relação aos atuais fornos de queima de gás, sendo uma das mais importantes a que se refere ao facto de apenas o objeto que se quer processar (cozer) será aquecido, em vez de toda a área em volta, e por causa disso a chaminé mantém se fria, e as perdas nos gases de escape são muito mais baixas. A segunda vantagem está relacionada com o facto da soldadura e da junção da cerâmica ser mais rápida do que através do aquecimento tradicional. Outra vantagem está relacionada com a redução de energia utilizada no processo, e consequentemente a redução de GEE. Nos melhores casos possíveis o consumo de energia poderá reduzir até aos 99% [60], [61]

Porém tem uma desvantagem, que no processo de aquecimento pode criar “*hot spots*”, que pode danificar as peças. Já foram executados diversos testes em fornos de micro-ondas, onde alguns investigadores afirmam que já é uma tecnologia que têm capacidade de ser um auxílio à indústria cerâmica, devido às suas vantagens.

Os fornos elétricos possuem diversas vantagens face aos fornos a combustão, no entanto, no caso de a energia elétrica não ser produzida a partir de fontes de energia renováveis, a redução na emissão de GEE acaba por não ser significativa. Há defensores que os fornos elétricos não têm futuro, por causa das elevadas temperaturas necessárias na indústria cerâmica.

7. Principais obstáculos e vantagens de Portugal em relação à descarbonização

Os principais obstáculos, que Portugal pode enfrentar como país, pode passar por não conseguir atingir todas as medidas propostas a que se comprometeu sem que prejudique as novas regras orçamentais propostas pela Comissão Europeia.

O investimento em tecnologias menos poluentes e inovadoras implica um elevado investimento monetário.

Portugal comprometeu-se com dois objetivos para atingir a transição energética, o de baixar, relativamente à situação de 2005, em 55% as emissões de GEE até ao final de 2030, e o limite da temperatura média da terra não subir acima dos 1,5°C até ao final do ano de 2050.[62]

Nesse estudo apenas 9 dos 27 países da união europeia têm a condições financeiras para fazer os investimentos necessários para atingir ambos os objetivos. Todos os outros países não têm, ou não afetaram, os recursos necessários para poderem atingir as metas propostas pela comissão europeia.

Portugal encontra-se nos piores classificados, devido á sua elevada dívida e que com a transição energética esse endividamento vai aumentar ainda mais, pois as novas tecnologias são mais caras que as antigas.

Este estudo demonstra a dificuldade dos países mais pobres na questão de transição energética, o que demonstra, que os objetivos propostos são muito ambiciosos.

Uma das tecnologias, alternativas ao hidrogénio passará pela utilização do bio metano para a produção de energia, porém Portugal neste campo encontra-se na cauda da europa, onde o bio metano tem um peso quase desprezável, porém o resto da europa tem investido nesta tecnologia.[63]

Porém nem tudo são desvantagens, existem inúmeras vantagens que colocam Portugal no país da europa com mais hipóteses de produção de energia renovável.

Portugal é dos países com maiores horas de sol da europa.[64]

Esta característica poderá colocar Portugal no país da Europa que mais energia produz a partir do sol.

Além de todas as tecnologias renováveis referenciadas acima, ainda existe a possibilidade de aumentar a produção de energia renovável a partir do vento, a capacidade *onshore* da produção eólica está perto do seu limite, o futuro passará por a produção eólica *off-shore*, visto Portugal ser dos países europeus com maior Zona Económica Exclusiva (ZEE), é necessário o investimento na nossa costa, porém o investimento é mais elevado, o que se torna num obstáculo. Na figura abaixo estão demonstrados os países europeus com maior ZEE.

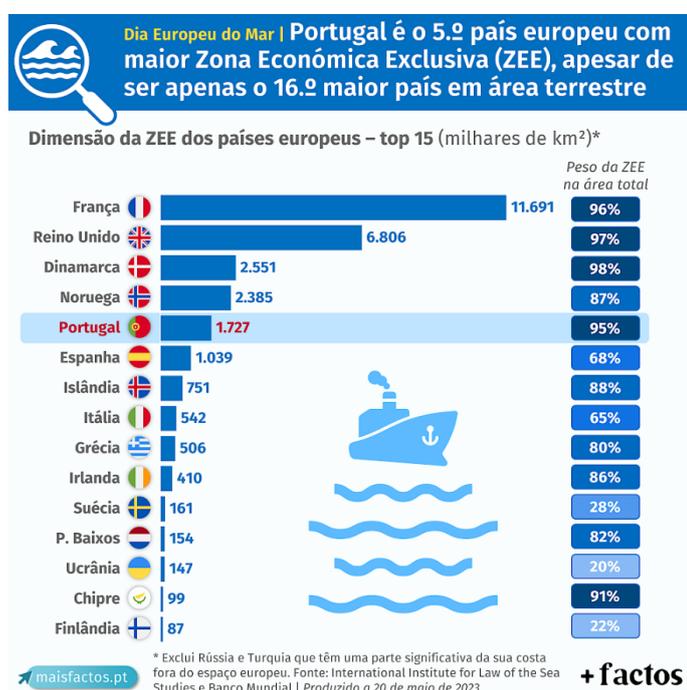


Figura 7.1 - Zona económica exclusiva (ZEE) dos países europeus[65]

Portugal encontra-se no topo dos países com maior ZEE, o que representa uma grande vantagem.

A produção de energia eólica na nossa costa ainda é muito baixa, devido às características do nosso mar e da orografia submarina perto da costa. Devido a essas características a primeira instalação eólica *off-shore* só ocorreu em 2019.

Existem dois tipos de instalação das turbinas eólicas, o tipo fixo ao leito do mar, só é viável para profundidades baixas, e o tipo flutuante, para profundidades mais elevadas, acima de 100 metros.[66]

Em 2019, foi instalado um projeto piloto de produção de energia eólica *off-shore*, este projeto consiste num parque eólico instalado em plataformas flutuantes, com uma potência instalada de 25 MW.[67]

Para se continuar a investir nestes parques eólicos instalados em plataformas flutuantes foi decido abrir um leilão para se instalarem mais parques eólicos com a mesma tecnologia, para que até ao final do ano de 2030 exista uma potência instalada de 10 GW.[68] Um objetivo muito mais ambicioso do que o expresso no PNEC, que estava dimensionado para a instalação de apenas 300 MW.[6]Uma diferença de aproximadamente 30 vezes para o que foi inicialmente projetado.

8. Conclusões

A eficiência energética, é um dos pilares da descarbonização da indústria, como foi explicado ao longo desta tese, e por isso têm uma grande importância no contexto da indústria, visto ainda não existirem muitas tecnologias para tornar os processos de fabrico menos poluentes.

Para se compreender melhor a importância da eficiência energética primeiro é necessário conhecer toda a legislação e compromissos que Portugal se propôs cumprir para que a neutralidade carbónica seja atingida até ao final de 2050, bem como normas sobre eficiência energética.

Visto a tese incidir sobre a indústria cerâmica foi necessário conhecer todos os processos de fabrico da cerâmica e conhecer todos os tipos de cerâmica que são produzidos em Portugal.

Na indústria cerâmica ficou concluído que o vetor energético com maior consumo é o gás natural utilizado para produzir energia térmica, sendo utilizada nos fornos, atomizadores entre outros.

A medida de eficiência mais comum no processo produtivo da cerâmica consiste no reaproveitamento do calor do forno para outro processo térmico como degem, ou aquecimento de águas sanitárias.

De forma a compreender melhor a importância de um bom isolamento dos fornos, e da importância do reaproveitamento do calor desperdiçado pelos gases de exaustão é importante reaproveitar essa energia térmica para outros processos industriais.

Através da base de dados desenvolvida, é seguro afirmar que a indústria cerâmica é um setor económico bastante importante para a economia Portuguesa, e que abrange uma enorme diversidade de artigos, pelo que não há uma relação entre o consumo e a produção.

Pode se concluir que na indústria cerâmica a eficiência energética é assunto já presente, sendo que a maioria das medidas já foram aplicadas, muito devido à legislação do SGCIE, onde estão incluídas a maioria das grandes empresas, visto serem obrigadas depois da assinatura do ARCE.

Apenas as empresas mais pequenas, tem uma margem de redução de consumos, visto não possuírem nenhum tipo de obrigação de redução de consumos.

No final desta tese foram apresentadas as novas tecnologias para alterar os atuais fornos de queima de gás natural, para fornos com menores emissões de GEE. Como os fornos

híbridos, fornos elétricos com resistências, porém esta tecnologia ainda está em fase de testes e é necessário tempo para se consolidar.

8.1. Trabalho futuro

Ao longo desta tese foram identificadas algumas oportunidades para trabalhos futuros no âmbito da indústria cerâmica.

Um trabalho futuro passará por completar a base de dados já desenvolvida ao longo desta dissertação, mas também proceder a uma análise mais crítica para se saber onde se encontram os indicadores menos eficientes na indústria cerâmica.

Como referido, as maiores economias de energia nos próximos anos não poderão passar apenas por medidas de eficiência energética, é necessário que as novas tecnologias de fornos, quer os fornos híbridos, mistura de gás natural e hidrogénio, bem como os fornos elétricos tenham um desenvolvimento mais rápido e que sejam implementados na indústria o mais rápido possível para que os objetivos propostos sejam atingidos.

Para que estas tecnologias cheguem o mais rapidamente aos clientes é necessário que se continue a investir.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] United Nations Climate Changes, «Kyoto Protocol», 1997. <https://apambiente.pt/clima/protocolo-de-kioto> (acedido 1 de Outubro de 2022).
- [2] United Nations Climate Changes, «Paris Agreement», 2015. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (acedido 13 de Setembro de 2022).
- [3] United Nations Climate Changes, «COP_27_Egipto», 2022. <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/sharm-el-sheikh-climate-change-conference-november-2022/five-key-takeaways-from-cop27> (acedido 30 de Novembro de 2022).
- [4] República Portuguesa, «Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050», vol. 2050, 2019.
- [5] J. Mateus, «Roménia ultrapassa Portugal no PIB per capita em 2024, Expresso», 2022, Acedido: 1 de Dezembro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://expresso.pt/economia/2022-11-24-Romenia-ultrapassa-Portugal-no-PIB-per-capita-em-2024-c1495997>
- [6] República Portuguesa, «PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA 2021-2030 (PNEC 2030)», 2019.
- [7] «OMIE». <https://www.grupoomi.eu/pt> (acedido 16 de Fevereiro de 2023).
- [8] SIC Notícias, «Fecho da central do Pego», 2021, Acedido: 8 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://sicnoticias.pt/economia/2021-11-21-Central-a-carvao-do-Pego-produziu-eletricidade-pela-ultima-vez-2bff9ed3>
- [9] «EU_ETS», 2005. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en (acedido 16 de Fevereiro de 2023).
- [10] «Instalações abrangidas pelo regime do Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE)», 2023. Acedido: 3 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/CELE/Listagem_Instalacoes/Tabela_NET_instala%C3%A7oes_abrangidas_CELE_2021_2030_2023_01_16.pdf
- [11] «Tabela_PCI_F.EMISSAO_F.OXIDACAO_2013», 2013, Acedido: 3 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em:

- https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/CELE/Tabelas_Fatores_Calculo/tabela_PCI_FE_FO_2013.pdf
- [12] Rádio Renascença, «Alemanha aumenta produção das centrais a carvão quando prometeu fechá-las até 2030», 2022, Acedido: 8 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: Alemanha aumenta produção das centrais a carvão quando prometeu fechá-las até 2030
- [13] C. Tomás, «Fogos disparam emissões de CO₂», *Expresso*, 2017, Acedido: 14 de Outubro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://expresso.pt/sociedade/2017-08-20-Fogos-disparam-emissoes-de-CO2>
- [14] C. Peres, «2017 foi “extremamente seco” e o segundo mais quente desde 1931», *Expresso*, 2017, Acedido: 15 de Outubro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://expresso.pt/sociedade/2017-12-30-2017-foi-extremamente-seco-e-o-segundo-mais-quente-desde-1931>
- [15] «Emissões Cerâmica», *INE*, 2019.
- [16] «Energia e Clima, Emissões de Gases de Efeito de Estufa, Portal do Estado do Ambiente Portugal», 2019. <https://rea.apambiente.pt/content/emiss%C3%B5es-de-gases-com-efeito-de-estufa> (acedido 7 de Outubro de 2022).
- [17] M. Almeida, B. Dias, P. Frade, e V. Francisco, «TÉCNICA, Revista Técnica de Cerâmica e Vidro», 2021. [Em linha]. Disponível em: www.colorobbia.com
- [18] DGEG, «BALANÇO ENERGÉTICO», 2019.
- [19] Nathan Barlow, Ekaterina Chertkovskaya, Manuel Grebenjak, e Vincent Liegey, «Re-imagining the Future After the Corona Crisis», 2021. Acedido: 2 de Janeiro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://degrowth.info/en/open-letter>
- [20] «Emissões_GEE_2019_Mundo, Our World in Data», 2019. https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country?time=1986..latest&facet=none&country=~OWID_WRL (acedido 15 de Dezembro de 2022).
- [21] «Annual CO₂ emissions and economic growth in developed countries, Our World in Data», 2021, Acedido: 19 de Outubro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country?time=1948..latest&country=European+Union+%2827%29~North+America+%28excl.+USA%29>
- [22] T. Bundervoet e M. Davalos, «In developing countries, the COVID-19 crisis has not affected everyone equally», 2021, Acedido: 19 de Dezembro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://blogs.worldbank.org/voices/developing-countries-covid-19-crisis-has-not-affected-everyone-equally>
- [23] «Mind over matter: How the world developed COVID-19 vaccines in record time, McKinsey&Company», 2021. Acedido: 19 de Outubro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/coronavirus-leading->

- through-the-crisis/charting-the-path-to-the-next-normal/mind-over-matter-how-the-world-developed-covid-19-vaccines-in-record-time
- [24] Lusa, «Os números que marcam a invasão russa à Ucrânia, TSF», 2022, Acedido: 9 de Outubro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://www.tsf.pt/mundo/os-numeros-que-marcam-a-invasao-russa-a-ucrania-14644672.html>
- [25] «POBREZA ENERGÉTICA: A EPIDEMIA SILENCIOSA, ZERO», 2019. <https://zero.org/pobreza-energetica/> (acedido 5 de Outubro de 2022).
- [26] «Energy imports dependency in European Union, Eurostat», Dezembro de 2019. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_ID__custom_4604455/default/table?lang=en (acedido 5 de Dezembro de 2022).
- [27] DGEG, «Balanço_Energético_», 2019. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/balancos-energeticos/balancos-energeticos-nacionais/> (acedido 19 de Setembro de 2022).
- [28] DGEG, «dgeg-pgi-1985-2022-precos_Gas», 2022.
- [29] «Imagem_Tijolo», 2022. <https://preceram.pt/tradicional/#tijolo-30-20-22> (acedido 23 de Setembro de 2022).
- [30] «Imagem_Telha», 2022. <https://fielserralharia.pt/products/2051106> (acedido 23 de Setembro de 2022).
- [31] «Imagem_Abobadilha», 2022. <https://pt.all.biz/abobadilhas-g3991> (acedido 23 de Setembro de 2022).
- [32] «Imagem_Louca_sanitaria», 2022. <https://www.oinstalador.com/Artigos/307162-Nova-serie-de-lavatorios-e-moveis-Geberit-VariForm.html> (acedido 4 de Outubro de 2022).
- [33] «Imagem_pavimento», 2022. <https://www.leroymerlin.pt/produtos/pavimentos-e-revestimentos/pavimento-de-ceramica/pavimento-ceramico-interior/pavimento-ceramico-artens-tone-cemento-60x120cm-82724875.html> (acedido 2 de Outubro de 2022).
- [34] Serrano Artur, Dias António, Cunha Fernando, Trindade Luís, e Santos João, «Utilização Racional de Energia e Energias Renováveis», Coimbra, 2009.
- [35] «Imagem_Ceramica_Utilitaria». <https://revista.anicer.com.br/diferencas-entre-louca-ceramica-porcelana-faianca-e-gres/> (acedido 26 de Junho de 2023).
- [36] «Imagem_Condensador», 23 de Setembro de 2022. <https://www.ptrobotics.com/condensador-ceramicos/8049-condensador-ceramico-22nf-1kv.html> (acedido 23 de Setembro de 2022).
- [37] «Imagem_Isolador», 2022. https://pt.made-in-china.com/co_ziyong/product_ANSI-56-1-Electric-High-Voltage-Antifouling-Line-Post-Ceramic-Porcelain-Insulator_rusheurg.html (acedido 23 de Setembro de 2022).

- [38] Apicer, «Cerâmica Portuguesa», 2019.
- [39] «Produtos produzidos cerâmica», INE, 2019.
- [40] «Imagem Mina». <https://www.ceramicasalema.com.br/a-importancia-da-argila-para-fabricacao-de-ceramica-vermelha/> (acedido 26 de Junho de 2023).
- [41] CTCV, «Dados auditorias», 2023.
- [42] B. Engel, «Emprego de Spray Dryer na indústria de alimentos: uma breve revisão», *Revista Jovens Pesquisadores*, vol. 7, n. 2, p. 02, Jul. 2017, doi: 10.17058/rjp.v7i2.9824.
- [43] «Imagem Forno Intermitente», 2022. <http://www.eurotechdobrasil.com.br/pt/FORNOS-INTERMITENTES/P3> (acedido 3 de Outubro de 2022).
- [44] «Imagem Forno Tunel», 2022. <https://www.mecanicaindustrial.com.br/215-o-que-e-um-forno-em-tunel/> (acedido 3 de Outubro de 2022).
- [45] «Imagem embalagem». <https://www.mecalux.pt/blog/embalagem-logistica> (acedido 26 de Junho de 2023).
- [46] Portuguese Government, «Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de Abril», 2008.
- [47] «Diário da República, 2.ª série-N.º 122-26 de Junho de 2008», 2008.
- [48] «SGCIE Website». <https://sgcie.pt/o-regulamento/enquadramento-e-objectivos/> (acedido 29 de Junho de 2023).
- [49] Portuguese Government, «Decreto-Lei nº68A/2015 de 30 de abril», 2015.
- [50] «Diretiva Eficiencia Energética UE», 2012. Acedido: 5 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A32012L0027>
- [51] «50001 INTERPRETATIVO GUIA ISO», 2015.
- [52] A. De e C. Carvalho, «FICHA TÉCNICA», INE, 2007.
- [53] «Imagem triângulo Potência», 2023. <https://circuitglobe.com/what-is-power-triangle.html> (acedido 5 de Abril de 2023).
- [54] «Imagem Motores ABB». Acedido: 17 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://new.abb.com/motors-generators/generators/generators-for-engines/cost-of-ownership/why-knowing-the-true-cost-of-ownership-of-your-process-can-help-avoid-catastrophic-failure>
- [55] «Imagem Rendimentos Motores», Acedido: 17 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.menzel-motors.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Energy_efficiency_classes_IEC_60034-30-1.pdf
- [56] «Iluminação», 2023, Acedido: 19 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.voltlighting.com/learn/lumens-to-watts-conversion-led-bulb>
- [57] I. - International Energy Agency, «Global Hydrogen Review 2022», 2022. [Em linha]. Disponível em: www.iea.org/t&c/

- [58] «Fornos resistência», 2023, Acedido: 10 de Agosto de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.keithcompany.com/technical-info-heating-method-thermocouples.html>
- [59] «Imagem_ Resistência», 2023, Acedido: 10 de Agosto de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fo8AKrayQDg>
- [60] T. Santos, L. Hennetier, V. A. F. Costa, e L. C. Costa, «Microwave versus conventional porcelain firing: Temperature measurement», *J Manuf Process*, vol. 41, pp. 92–100, Mai. 2019, doi: 10.1016/j.jmapro.2019.03.038.
- [61] D. D. Furszyfer Del Rio *et al.*, «Decarbonizing the ceramics industry: A systematic and critical review of policy options, developments and sociotechnical systems», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 157. Elsevier Ltd, 1 de Abril de 2022. doi: 10.1016/j.rser.2022.112081.
- [62] «Beyond the bottom line», 2023, Acedido: 10 de Agosto de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.routledge.com/Beyond-the-Bottom-Line-Integrating-Sustainability-into-Business-and-Management/Gudic-Tan-Flynn/p/book/9781783533275>
- [63] «Biomethane in Europe», 2023. <http://createsend.com/t/r-3CE201455C2602752540EF23F30FEDED> (acedido 29 de Maio de 2023).
- [64] «Global Solar Atlas», 2023. <https://globalsolaratlas.info/map?c=31.316101,33.486328,4&s=36.738884,26.411133&m=site> (acedido 26 de Maio de 2023).
- [65] «ZEE Portugal», 2023. <https://maisliberdade.pt/maisfactos/dia-europeu-do-mar-zona-economica-exclusiva-dos-paises-europeus/> (acedido 26 de Maio de 2023).
- [66] «Geo Portal do mar português». <https://webgis.dgrm.mm.gov.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=df8accb510bc4f33963d9b03bf3674b8> (acedido 29 de Maio de 2023).
- [67] «Projeto WindFloat», 2019. <https://noctula.pt/projeto-windfloat-atlantic-primeiro-parque-eolico-maritimo-em-portugal/> (acedido 29 de Maio de 2023).
- [68] «Produção Eólica 10GW», 2023. Acedido: 30 de Maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/energia/detalhe/primeiro-leilao-eolico-offshore-devera-ter-mais-de-1-gw-de-capacidade-diz-ministro>