



Substituição do Gás Natural por Energia Elétrica no Aquecimento das Olarias

ANA CATARINA RIBEIRO ALVES

julho de 2023

Substituição do Gás Natural por Energia Elétrica no Aquecimento das Olarias

Ana Catarina Ribeiro Alves

Julho 2023

**Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Química, área de especialização Energia e Biorrefinaria**

Orientação no ISEP: Engenheira Anabela Guedes

Engenheira Paula Neto

Orientação na empresa: Engenheiro Manuel António

Agradecimentos

A finalização desta dissertação marca o encerramento de mais um capítulo da minha vida tanto académica como pessoal. A realização da mesma contou com apoios importantes, aos quais estarei eternamente grata.

Em primeiro lugar, queria agradecer ao meu orientador Engenheiro Manuel António por toda a disponibilidade e paciência ao longo de todos estes meses. Agradeço ainda por me ter proporcionado todas as condições necessárias para a elaboração da minha tese e por me ter ajudado a compreender todo o processo de funcionamento da empresa.

A toda a equipa da ARCH, SA um enorme obrigado pela simpatia com que fui recebida e por sempre se terem mostrado disponíveis para tudo o que eu precisasse.

À Engenheira Paula Neto, o meu especial agradecimento por toda ajuda e apoio sem os quais não conseguiria atingir o que atingi ao longo destes meses. Obrigada pela dedicação incansável e por me ajudar a encontrar sempre o caminho mais correto. Ainda pelo ISEP, um obrigada à minha orientadora, Engenheira Anabela Guedes.

Agradecer também à minha família, que sempre me apoiou e nunca me deixou baixar os braços quando surgiram obstáculos neste percurso.

Por fim, mas não menos importante, um enorme obrigada a todos os meus amigos que me acompanharam ao longo desta caminhada e sem os quais esta não teria o mesmo valor.

A todos, o meu mais profundo e sincero agradecimento.

Sumário

Devido aos elevados custos energéticos que o setor cerâmico apresenta torna-se essencial a gestão e otimização energética.

O presente trabalho foi realizado na empresa ARCH, SA, Valadares com o objetivo de avaliar a forma como os recursos energéticos são geridos na secção da olaria 2.

Inicialmente realizou-se um levantamento energético à empresa e à olaria, constatando-se que a utilidade mais consumida, quer na empresa quer na olaria é o gás natural, representando na empresa 86 % do consumo total energético. Na olaria em estudo o consumo de gás natural é de 84 % correspondendo o resto à energia elétrica.

Assim, foram estudadas e avaliadas algumas medidas de otimização energética. Verificando-se que as perdas térmicas na olaria são essencialmente pelas fronteiras exteriores sugeriu-se a melhoria do isolamento térmico destas fronteiras. Foi avaliada a viabilidade económica do isolamento com placas de esferovite de 5 cm, tendo-se obtido uma poupança de gás natural de 16 % na olaria 2.1 e 15 % na olaria 2.2. e um tempo de retorno do investimento de 2 anos e 5 meses.

Foi ainda estudada a possibilidade de transitar de gás natural para energia elétrica para a realização do aquecimento das olarias. Para este cenário, iria ocorrer uma poupança anual de cerca de 18 161 €, mostrando-se como opção bastante viável.

Uma vez que, é cada vez mais importante a utilização de energia renovável foi analisada a viabilidade de incorporar painéis fotovoltaicos da marca LONGi Hi-M04, já instalados na empresa, para o tal aquecimento, total ou parcial, das olarias. Para isto recorreu-se ao software “Sistema de Certificação Energética – Energias Renováveis”, SCE.ER, disponibilizado pela Direção Geral de Energia e Geologia, DGEG. Após a devida parametrização do sistema obtiveram-se resultados pouco satisfatórios. Obteve-se uma percentagem de necessidades cobertas de 34 % utilizando 400 painéis solares fotovoltaicos, assegurando assim uma poupança de 7 587 € anuais.

Palavras-chave: Otimização Energética, Energia Renovável, Energia Elétrica, Sistema Fotovoltaico

Abstract

Due to the high energy costs that the ceramic sector presents, energy management and optimization becomes essential.

The present work was carried out in the company ARCH, SA, Valadares with the objective of evaluating how energy resources are managed in the pottery section 2.

Initially, an energy survey was carried out in the company and in the pottery, showing that the most consumed utility, both in the company and in the pottery is natural gas, representing 86% of the total energy consumption in the company. In the pottery under study, the consumption of natural gas is 84%, the rest corresponding to electricity.

Thus, some energy optimization measures were studied and evaluated. Since the thermal losses in the pottery are essentially through the external borders, it was suggested to improve the thermal insulation of these borders. The economic viability of insulation with 5 cm styrofoam sheets was evaluated, obtaining a natural gas saving of 16% in pottery 2.1 and 15% in pottery 2.2. and a return on investment time of 2 years and 5 months.

The possibility of switching from natural gas to electricity for the heating of the potteries was also studied. For this scenario, there would be an annual saving of about 18 161 €, proving to be a very viable option.

Since the use of renewable energy is increasingly important, the feasibility of incorporating photovoltaic panels of the LONGi Hi-M04 brand, already installed in the company, for such heating, total or partial, of the potteries was analyzed. For this, the software "Energy Certification System - Renewable Energies", SCE.ER, made available by the General Directorate of Energy and Geology, DGEG, was used. After the proper parameterization of the system, unsatisfactory results were obtained. A percentage of covered needs of 34% was obtained using 400 photovoltaic solar panels, thus ensuring savings of € 7,587 per year.

Keywords: Energy Optimization, Renewable Energy, Electrical Energy, Photovoltaic System

Índice

1.	Introdução	1
1.1	A Fábrica Cerâmica de Valadares	1
1.2	Eficiência Energética na Indústria	4
1.2.1.	Consumo energético no setor cerâmico	6
1.2.2.	Consumo energético na Empresa	8
1.3	Objetivos do trabalho	12
1.4	Organização da Dissertação	12
2.	Processo Produtivo – Olaria 2	15
2.1.	Processo produtivo das louças sanitárias	15
2.1.1.	Etapa de conformação	19
2.2.	Descrição da Olaria 2	20
3.	Levantamento e avaliação energética da olaria 2	23
3.1.	Energia Elétrica	23
3.2.	Gás Natural	24
3.3.	Consumos e custos específicos	25
3.4.	Geradores de calor	26
3.5.	Painéis Solares Fotovoltaicos	28
4.	Avaliação das perdas térmicas	33
4.1.	Conceitos gerais sobre transferência de calor	33
4.2.	Resultados obtidos para as perdas de calor	37
5.	Medidas de Otimização - Resultados	41
5.1.	Isolamento térmico das olarias – Consumo de Gás Natural	41
5.1.1.	Consumo de Gás Natural	43
5.2.	Transição para energia elétrica e custos associados	48
5.3.	Estudo da viabilidade da incorporação de energia fotovoltaica	51
6.	Conclusões e propostas de trabalhos futuros	57

Bibliografia.....	59
Anexos	61
Anexo A – Dados do levantamento energético à empresa e à olaria 2	61
A.1 Levantamento energético à empresa.....	61
A.2 Levantamento energético à olaria 2	63
Anexo B – Exemplos de Cálculo.....	65
B.1 Cálculos dos consumos e custos específicos	65
B.2 Cálculos das Perdas de Calor	66
B.3 Cálculo das perdas de calor otimizadas e investimento necessário	74
B.4 Cálculo da diminuição do consumo de gás natural.....	76
B.5 Cálculo da transição de gás natural para energia elétrica	81
Anexo C – Aplicação de energia fotovoltaica	85
Anexo D – Aparelhos utilizados.....	91

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Logotipo da empresa ARCH, SA [1].....	1
Figura 1.2 - Planta topográfica da ARCH, SA.	3
Figura 1.3 - Distribuição do consumo energético em Portugal no ano de 2020.....	4
Figura 1.4 - Evolução da dependência energética em Portugal em 10 anos [7].....	5
Figura 1.5 - Distribuição do consumo de energia primária pelas diversas formas de energia [8].....	6
Figura 1.6 - Consumo de energia final na indústria cerâmica em 2020 [10].	7
Figura 1.7 - Evolução do preço de gás natural [11].....	7
Figura 1.8 - Variação do preço de gás natural do 1º semestre de 2021 para o 1º semestre de 2022 [11].....	8
Figura 1.9 - Consumo energético anual da empresa em 2022.....	9
Figura 1.10 - Consumo de energia elétrica e produção de energia elétrica mensais no ano de 2022.....	10
Figura 1.11 - Evolução dos custos mensais do gás natural e da energia elétrica no ano de 2022.	11
Figura 2.1 - Diagrama do processo de produção das louças sanitárias.	18
Figura 2.2 - Planta interna da Olaria 2.	21
Figura 3.1 - Consumo de energia elétrica na olaria 2 comparativamente ao consumo total da empresa.	23
Figura 3.2 - Consumo de gás natural na olaria 2 comparativamente ao consumo total da empresa.....	24
Figura 3.3 – Percentagem dos consumos médios das diferentes utilidades na olaria 2.	25
Figura 3.4 - Esquema de um gerador de calor com o circuito de ar de aquecimento.....	27
Figura 3.5 - Curva I-V de um painel fotovoltaico [13].	30
Figura 4.1 - Representação dos três mecanismos de transferência de calor numa parede vertical.	34
Figura 4.2 - Comparação da energia dissipada pelas diferentes fronteiras da olaria 2.1.....	38
Figura 4.3 - Comparação da energia dissipada pelas diferentes fronteiras da olaria 2.2.....	40
Figura 4.4 - Análise das perdas pelas paredes da olaria 2.2.	40
Figura 5.1 - Esquema representativo do gerador e das suas correntes de entrada e saída.	45

Figura 5.2 - Divisão do horário de funcionamento do gerador da olaria 2.1 pelos diversos períodos.	49
Figura 5.3 - Divisão do horário de funcionamento do gerador da olaria 2.2 pelos diversos períodos.	50
Figura 5.4 - Dados horários de autoconsumo.	54
Figura 5.5 - Resultados sumários da simulação em SCE.ER.	55

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Resultados obtidos para os consumos e custos específicos associados a cada utilidade utilizada na olaria 2.	26
Tabela 4.1 - Correlações empíricas para o cálculo do coeficiente de transferência de calor para convecção natural para o ar a 1 atm [15].	36
Tabela 4.2 - Perdas de calor pelas diferentes fronteiras da olaria 2.1.	38
Tabela 4.3 - Perdas de calor pelas diferentes fronteiras da olaria 2.2.	39
Tabela 5.1 - Comparação do valor das perdas atuais com a situação de melhoria na olaria 2.1.	42
Tabela 5.2 - Comparação do valor das perdas atuais com a situação de melhoria na olaria 2.2.	43
Tabela 5.3 - Comparação dos valores de temperatura do ar quente nas duas situações em estudo, para temperatura da olaria a 27 °C.	44
Tabela 5.4 - Características do gás natural usado na empresa.	46
Tabela 5.5 - Comparação dos consumos de gás natural nas duas situações em estudo.	47
Tabela 5.6 - Consumo e custo diários associados a cada período de funcionamento da olaria 2.1.	49
Tabela 5.7 - Consumo e custo diários associados a cada período de funcionamento da olaria 2.2.	50
Tabela 5.8 - Características dos painéis instalados na empresa.	52
Tabela 5.9 - Dados sobre as necessidades energéticas da olaria 2.1.	53
Tabela 5.10 - Dados sobre as necessidades energéticas da olaria 2.2.	54

Nomenclatura

Símbolo

Símbolo	Descrição	Unidades
A	Área da superfície de transferência de calor	m^2
c_p	Calor específico a pressão constante	J/(kg.K)
D	Diâmetro	m
E	Energia	kWh
g	Aceleração gravítica	m/s^2
h_{conv}	Coeficiente de transferência de calor por convecção	W/($m^2.K$)
$I_{máx}$	Corrente no ponto de máxima potência	A
I_{SC}	Corrente de curto circuito	A
k	Condutividade térmica	W/(m.K)
L	Dimensão característica	m
$\dot{m}$	Caudal mássico	kg/s
P	Pressão	Pa
PCS	Poder Calorífico Superior	kcal/kg
$P_{máx}$	Ponto de potência máxima	W
Q	Calor transferido	W
R	Resistência	K/W
R_{cond}	Resistência à condução	K/W
R_{conv}	Resistência à convecção	K/W
R_{eq}	Resistência equivalente	K/W
T	Temperatura	K
t	Tempo	s
V	Volume	m^3
$\dot{V}$	Caudal volumétrico	m^3/h
$V_{máx}$	Tensão no ponto de máxima potência	V
V_{OC}	Tensão de circuito aberto	V
ΔH	Variação de entalpia	J
Δx	Espessura da placa	m
Gr_L	Número de Grashof	[-]
Nu	Número de Nussel	[-]

Pr	Número de Prandtl	[-]
Ra _L	Número de Rayleigh	[-]

Letras gregas

Símbolo	Descrição	Unidades
μ	Viscosidade	Pa.s
$\mu_{\text{cinemática}}$	Viscosidade cinemática	m ² /s
β	Coeficiente de expansão volumétrica	K ⁻¹
ε	Emissividade	[-]
ρ	Massa Volúmica	kg/m ³
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	W/(m ² .K ⁴)

Abreviaturas

AQS – Águas Quentes Sanitárias

ARCH – Advanced Research Ceramic Heritage

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

FER – Fontes de Energia Renováveis

GN – Gás Natural

IPMA – Instituto Português do Mar e Atmosfera

NOTC – Temperatura Normal de Operação das Células

RECS – Regulamento do desempenho energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento do desempenho energético dos Edifícios de Habitação

SCE.ER – Sistema de Certificação Energética – Energias Renováveis

SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

STC – Standard Test Conditions

tep – Toneladas Equivalentes de Petróleo

UE – União Europeia

1. Introdução

Este capítulo tem como propósito a apresentação de vertentes relacionadas com a empresa Cerâmica de Valadares, atualmente conhecida como Advanced Research Ceramic Heritage, ARCH, onde se desenvolveu o projeto, abordando a sua história desde a sua criação até à atualidade.

É também retratada a importância da otimização energética na indústria, avaliando a evolução energética em Portugal e posteriormente é feito o enquadramento da empresa ARCH, SA.

Por fim, este capítulo apresenta ainda os objetivos e a forma como a dissertação vai ser organizada e desenvolvida.

1.1 A Fábrica Cerâmica de Valadares

Foi em meados de 1921, mais concretamente a 25 de Abril, que nasceu uma das empresas mais importantes na área da indústria cerâmica em Portugal, a “Fábrica Cerâmica de Valadres”. Localizada a norte do país, em Vila Nova de Gaia, esta empresa começou por se focar na produção de artigos de barro vermelho como tijolos, telhas, entre outros. Na figura 1.1 está apresentado o logotipo da empresa em questão.



Figura 1.1 - Logotipo da empresa ARCH, SA [1].

Nos anos 30, a empresa iniciou a produção de louça de faiança e permaneceu nesta vertente durante cerca de 20 anos, tornando-se um nome de destaque devido à variedade e criatividade dos produtos [2].

A partir da década de 90 a Valadares começou a dedicar-se exclusivamente à produção de produtos sanitários, apostando na inovação e qualidade dos seus artigos de forma a cada vez mas atingir posições de destaque no mercado [2].

Nos anos 2000 a Cerâmicas Valadares atingiu a sua máxima capacidade produtiva o que abriu oportunidade para se estender para diferentes mercados internacionais que até à altura não era possível. O seu crescimento, focado no desenvolvimento de soluções atuais com elevada qualidade e adaptáveis a diversas necessidades e critérios, transformou a empresa num líder do mercado de artigos sanitários [2].

Devido a este crescimento exponencial, em 2002 começou a surgir a necessidade de inovar nos materiais utilizados uma vez que os existentes não eram capazes de satisfazer todas as especificações requeridas. Assim, em 2004 nasceu um material novo, o Gresanit, fruto de um plano elaborado pelo departamento de inovação. Este material tornou então possível o fabrico de peças com menor peso e simultaneamente maior resistência mecânica, características que não existiam nos materiais usados até então [3].

A criação deste novo material para além de abrir novas portas para a empresa e para o seu desenvolvimento e crescimento, tem na sua génese uma forte componente associada à sustentabilidade ambiental. O Gresanit foi formulado de forma a reintegrar todo o desperdício resultante do seu próprio processamento, tornando-o amigo do ambiente através da reciclagem de resíduos cerâmicos e da diminuição do consumo de matérias-primas para o seu fabrico. Assim, com este novo material, em 2005 já eram desenvolvidos mais de 50 artigos, destacando-se as bases de chuveiro extra-planas e lavatórios de grandes dimensões [3].

Durante os anos 2011 e 2012 a Fábrica Cerâmica de Valadres prosseguiu o seu desenvolvimento, passando por períodos altos e baixos e numa fase mais crítica da sua existência, em 2012, acabou mesmo por encerrar. No entanto, a força de vontade de continuar tornou possível, em 2014, a recuperação desta empresa sendo que a marca Valadares foi integrada numa nova empresa, a ARCH, SA.

Não tardou para que esta nova etapa da marca Valadares fosse marcada por algum crescimento, tendo sido desenvolvido outro material inovador, o HighCer, com características que superavam quaisquer materiais presentes no mercado.

A empresa ocupa uma área de 70 000 m² e está dividida em várias zonas que são classificadas de acordo com as etapas de produção que nelas ocorrem. É então constituída por quatro fábricas que englobam as olarias, uma secção de preparação de pastas, uma zona de armazenamento e uma área de serviços técnicos/laboratoriais. Na fábrica 1, existe uma olaria onde se processam os artigos sanitários em porcelana, tais como bacias, lavatórios, entre outros. É também nesta instalação que é produzido o vidro posteriormente utilizado na vidragem das peças. A fábrica 2 é constituída por duas olarias que são responsáveis por produzir produtos em Gresanit. Já na fábrica 3 não existem olarias em funcionamento, no entanto, é onde ocorre grande parte dos processos de produção, como a preparação dos moldes, a escolha e o retoque. A fábrica 4 encontra-se atualmente desativada. Na figura 1.2 está apresentada a planta topográfica da empresa, onde a vermelho se encontra a fábrica 2, área em estudo, da qual fazem parte as olaria 2.1 e 2.2.



Apesar da sua enorme dimensão e da procura constante em inovar, a preocupação com questões ambientais nunca é colocada de parte. Esta questão está presente no dia-a-dia da empresa, através de uma minimização de produção de resíduos, promovendo a eficácia e eficiência do processo e do seu reaproveitamento.

1.2 Eficiência Energética na Indústria

A energia é essencial em todas as economias. Assim, é reconhecida como uma necessidade básica em praticamente todos os processos produtivos e um item relevante no consumo final nos vários setores económicos..

O setor da indústria é um dos setores com maiores consumos energéticos e com maior dependência de recursos energéticos não renováveis. O consumo energético deste setor representa cerca de 30 % do consumo energético do país [4].

Na figura 1.3 é apresentado um gráfico ilustrativo do consumo final de energia em Portugal no ano de 2020.

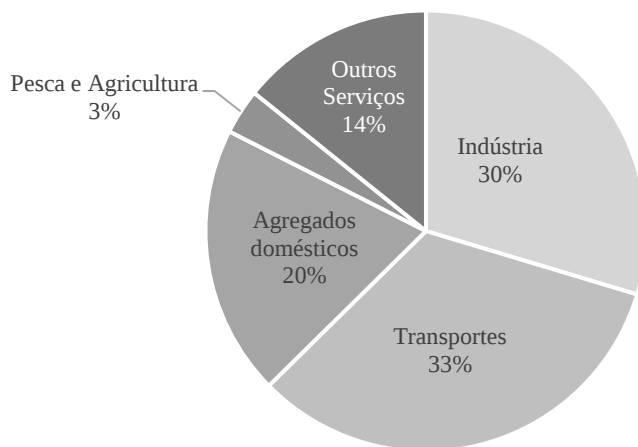


Figura 1.3 - Distribuição do consumo energético em Portugal no ano de 2020.

Analisando este gráfico podemos verificar que o setor que mais energia consome é o setor dos transportes, representando cerca de 33 % do consumo energético em Portugal. Depois do setor da indústria que, como já referido, consome cerca de 30 %, aparecem os agregados domésticos e outros serviços, que representam um consumo de 20 % e 14 %, respetivamente, estando este valor associado maioritariamente ao aquecimento. Por fim, o setor da agricultura e da pesca é responsável pelo consumo de cerca de 3 % [5].

Abordando agora um panorama mais geral, a redução do consumo de energia e do desperdício energético tem cada vez mais uma maior importância para a União Europeia (UE). E nesse sentido foi fixado em 2018, um grande objetivo que visa uma redução do consumo energético da UE para menos de 32,5 % até 2030 [6].

Um dos maiores focos e objetivos da atual política energética nacional também consiste na redução da dependência energética, relativamente ao exterior, uma vez que Portugal apresenta uma elevada dependência, rondando os 70 %. No gráfico da figura 1.4 pode-se ver a evolução da dependência energética em Portugal desde 2009 a 2019.

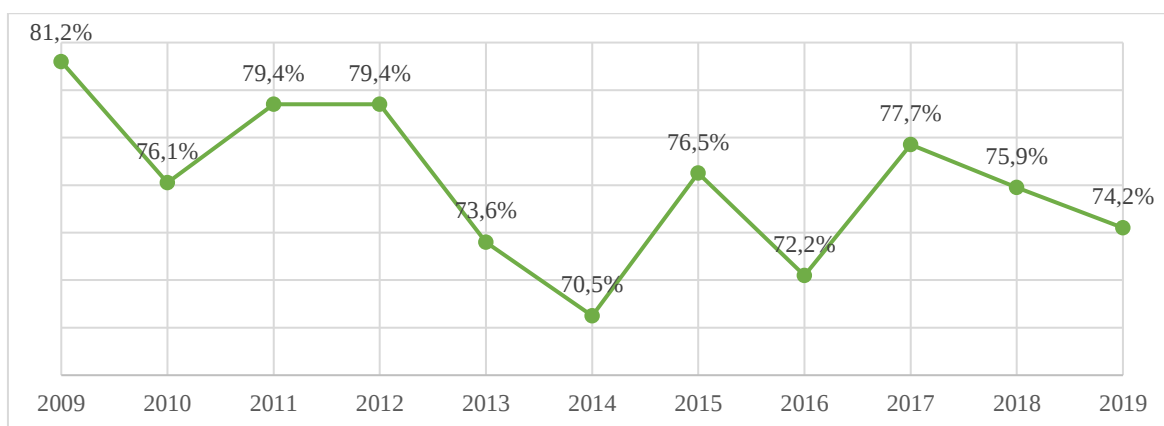


Figura 1.4 - Evolução da dependência energética em Portugal em 10 anos [7].

As medidas relativas à eficiência energética são cada vez mais reconhecidas como meio para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e alcançar um aprovisionamento de energia sustentável. Assim, a eficiência energética, é uma das prioridades para o futuro, sendo que para a alcançar ainda existe um longo caminho a percorrer.

Portugal, nos últimos anos tem vindo a apostar na eficiência energética e no aproveitamento do seu potencial nas energias renováveis, numa tentativa de contrariar a dependência do país no que diz respeito à importação energética.

Estes esforços têm sido refletidos, ainda que numa pequena dimensão, nos consumos dos últimos anos, tendo-se verificado na distribuição do consumo de energia primária que as energias renováveis já ocupam o segundo lugar.

Ainda assim, em 2020, 40,9 % da energia consumida era derivada do petróleo, seguida pelas energias renováveis com 29,9 %. Na figura 1.5 está representada a distribuição do consumo de energia primária pelas diversas formas de energia.

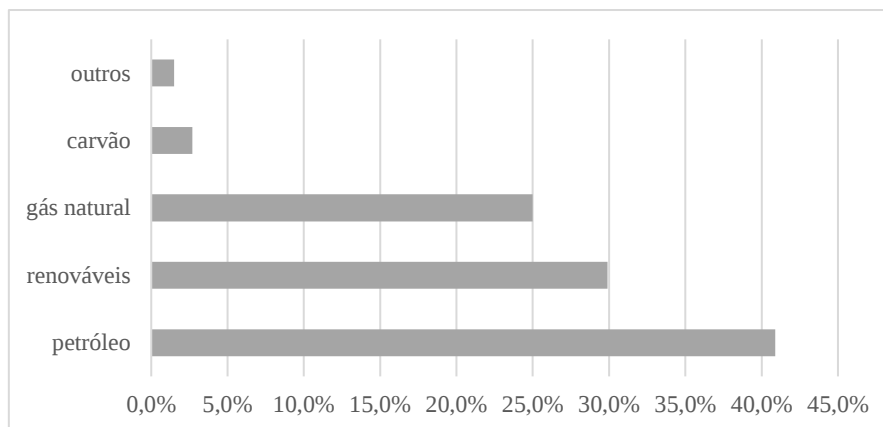


Figura 1.5 - Distribuição do consumo de energia primária pelas diversas formas de energia [8].

Apesar de muitos setores das indústrias serem consumidores intensivos de energia, será agora abordado mais concretamente o setor cerâmico, uma vez que é neste que incide o desenvolvimento do tema da dissertação. Uma instalação diz-se consumidora intensiva de energia quando as suas atividades necessitam de consumir grandes quantidades de energia para serem realizadas. O Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) aplica-se às instalações consumidoras intensivas de energia que correspondem às que têm um consumo anual igual ou superior a 500 tep (toneladas equivalente de petróleo) [9]. Uma vez que a ARCH Valadares tem um consumo anual de aproximadamente 800 tep é considerada uma empresa consumidora intensiva de energia.

1.2.1. Consumo energético no setor cerâmico

No ano de 2020, em Portugal, a fonte de energia mais consumida na indústria cerâmica foi o gás natural, e em segundo lugar a energia elétrica [10]. No diagrama da figura 1.6 estão apresentados os consumos de energia final na indústria cerâmica correspondentes ao ano de 2020.

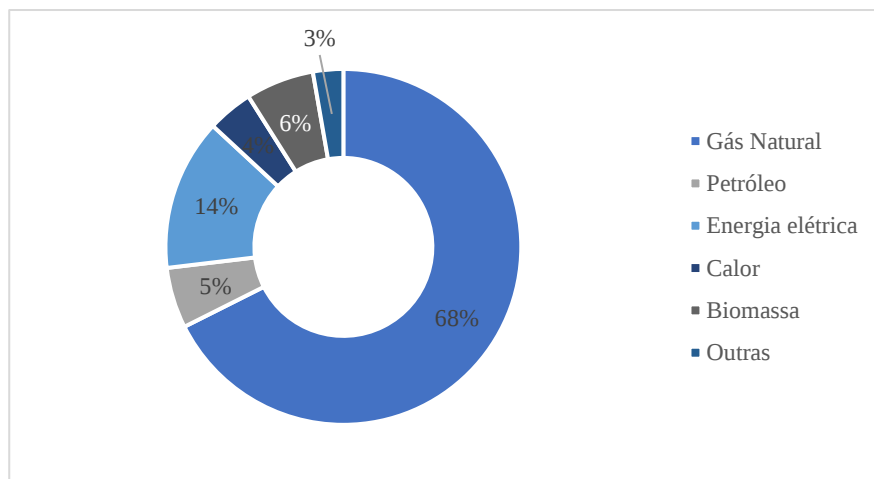


Figura 1.6 - Consumo de energia final na indústria cerâmica em 2020 [10].

Em geral, todas as fases da indústria cerâmica são energeticamente intensivas, sendo as maiores consumidoras do processo, a nível energético, as etapas de secagem e cozedura.

Tal como referido anteriormente, a indústria cerâmica é considerada como consumidora intensiva de gás natural, por isso, é importante estudar a evolução do preço que este recurso tem sofrido ao longo dos anos. Na figura 1.7 está representada a evolução do preço de gás natural, por semestres, desde 2016 até ao primeiro semestre de 2022.

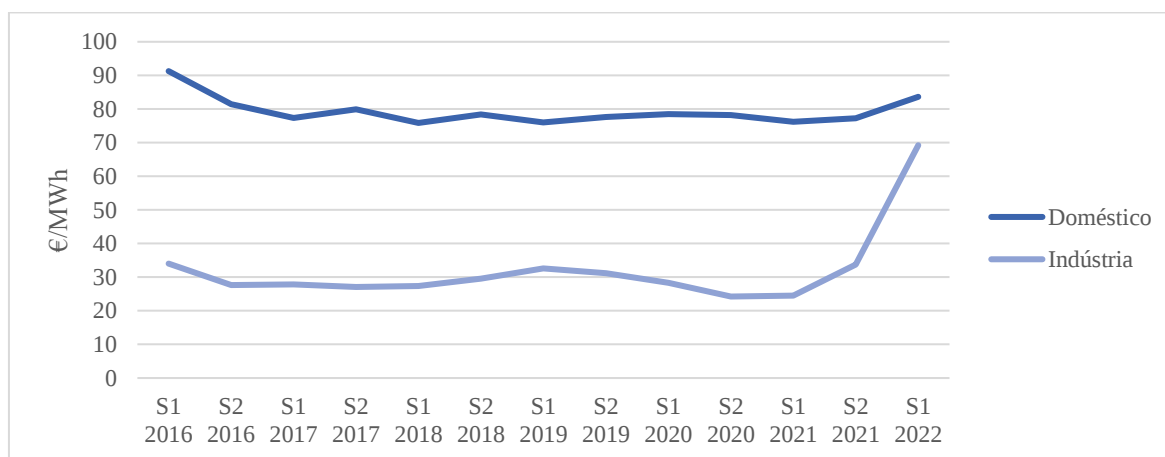


Figura 1.7 - Evolução do preço de gás natural [11].

Analisando a figura 1.7 pode-se ver que do primeiro semestre de 2021 para o primeiro semestre de 2022 houve um aumento acentuado do preço do gás natural. Este aumento está apresentado graficamente na figura 1.8.

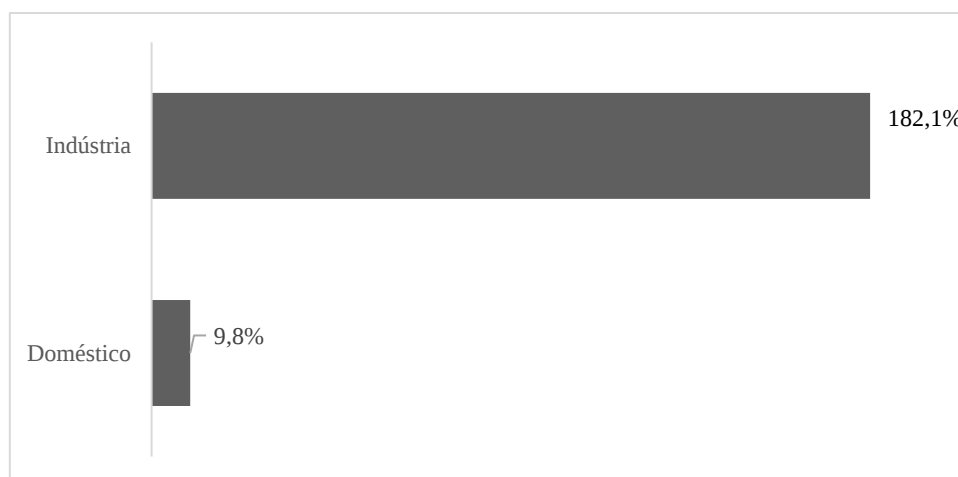


Figura 1.8 - Variação do preço de gás natural do 1º semestre de 2021 para o 1º semestre de 2022 [11].

Assim, é possível verificar-se que apesar do preço ter sofrido um aumento tanto a nível industrial como doméstico, foi a nível industrial que se verificou um aumento exponencial, correspondendo a 182,1 %. Este aumento, deveu-se essencialmente à atual situação geopolítica europeia – a guerra na Ucrânia.

Face a estes dados, atualmente, as empresas, tanto no setor cerâmico como nos restantes setores da indústria, têm vindo a adotar estratégias que visam melhorar o desempenho a nível energético, sabendo que, hoje em dia, a redução dos respetivos consumos é um fator importante na competitividade de uma empresa no mercado. As poupanças de energia, e consequentemente os seus custos, surgem como alternativas mais viáveis para atingir as exigências de redução de energia e das emissões de gases que lhe está associada.

1.2.2. Consumo energético na Empresa

De forma a compreender melhor o consumo energético na ARCH, SA para um melhor enquadramento do trabalho, foi feito um levantamento relativamente aos consumos mensais de gás natural e energia elétrica correspondentes ao ano de 2022. Os dados relativos a este levantamento estão apresentados no Anexo A.1. A empresa funciona todo o ano, com exceção de duas semanas em Agosto e uma semana em Dezembro, sendo que o horário de laboração diário é das 8 horas até às 17 horas de 2ª a 6ª feira. No entanto as olarias apresentam horários de funcionamento diferentes, dependendo do funcionamento dos geradores de calor. O gerador da olaria 2.1 funciona das 03:00 h até às 11:00 h e o da olaria 2.2 desde as 00:00 h até às 15:00 h. Na figura 1.9 está representado o gráfico do

consumo para o ano de 2022 da empresa em gás natural e energia elétrica. Os valores para a construção desta figura estão no anexo A.1.

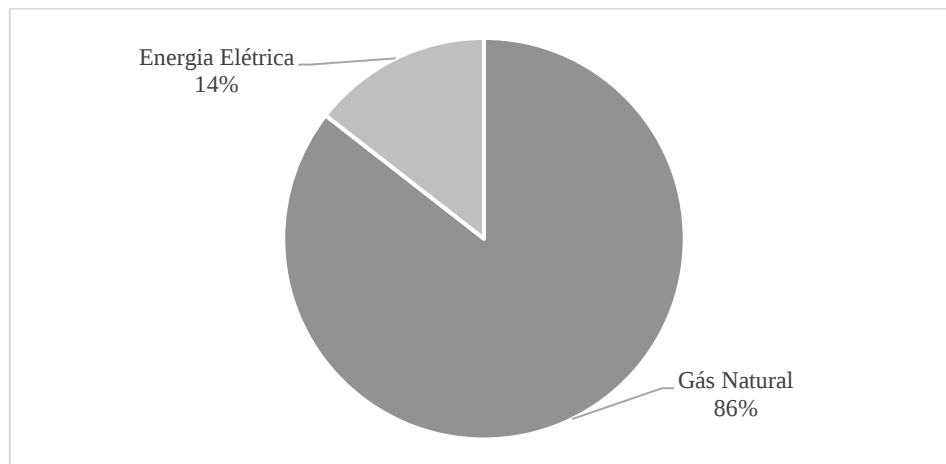


Figura 1.9 - Consumo energético anual da empresa em 2022.

Pode-se concluir, pela análise do gráfico da figura 1.9, que o gás natural é consumido a uma maior escala, correspondendo a uma percentagem de 86 % do consumo energético anual da empresa. Já a energia elétrica apenas apresenta uma percentagem de consumo 14 %. É importante realçar que desde Abril de 2022 a empresa começou a produzir energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos. Deste modo dos 14 % de consumo de elétrico referido na figura 1.9, só cerca de 13,5 % é energia elétrica produzida a partir dos painéis fotovoltaicos instalados na empresa no ano de 2022.

No gráfico da figura 1.10 está apresentada a evolução do consumo de energia elétrica ao longo do ano de 2022 assim como a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos instalados no mesmo ano. Os valores em causa encontram-se no Anexo A.1.

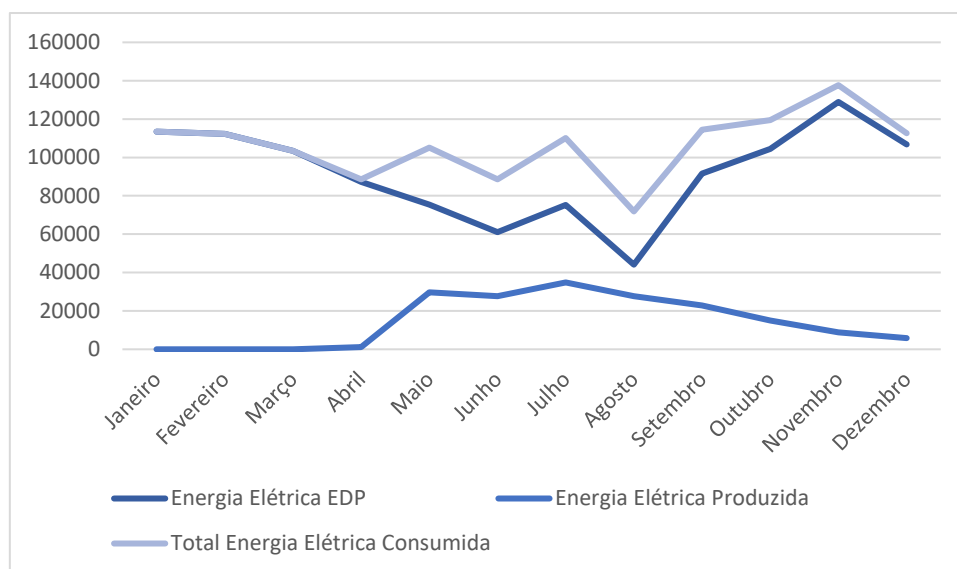


Figura 1.10 - Consumo de energia elétrica e produção de energia elétrica mensais no ano de 2022.

Analisando a figura 1.10, verifica-se como já referido, que os painéis só foram instalados em Abril, uma vez que só a partir deste mês é que se começou a registar produção de energia elétrica, como se pode ver pela linha inferior do gráfico que permanece a zero até ao mês de Abril. No entanto, ocorrem bastantes oscilações nos consumos ao longo do ano, que não são resultado da instalação de paineis. Estas variações podem dever-se às variações das encomendas ao longo dos vários meses que vai ter consequências nos consumos elétricos. Estudando os meses de Verão, pode-se verificar que nestes existe uma maior produção de energia elétrica pelos painéis fotovoltaicos, não havendo tanto consumo de energia elétrica da rede. Entrando nos meses de Outono e Inverno, existindo menos luz solar, a produção de energia fotovoltaica diminui aumentando por isso o consumo de energia elétrica proveniente da rede. Pelo gráfico percebe-se também que até Abril existe uma grande diminuição no consumo elétrico, o que pode ser explicado pela variação do fluxo de encomendas.

De modo a analisar o impacto económico que estes elevados consumos têm, foram recolhidos valores de gastos mensais relativos ao gás natural e à energia elétrica. Com estes dados mensais foi então possível calcular o custo que estas utilidades têm anualmente. No gráfico da figura 1.11 está presente a evolução dos custos mensais associados a estas utilidades no ano de 2022. No Anexo A.1 encontram-se os valores em causa.

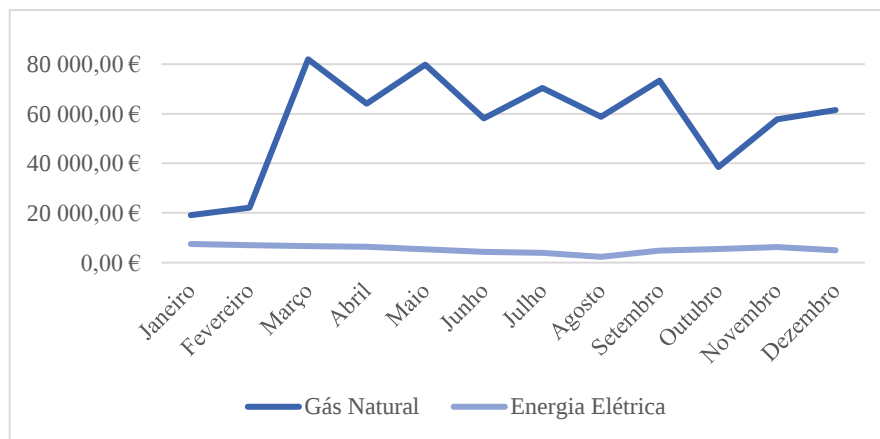


Figura 1.11 - Evolução dos custos mensais do gás natural e da energia elétrica no ano de 2022.

Como se pode observar no gráfico da figura 1.11, os custos associados ao gás natural são bastante mais elevados que os associados à energia elétrica. Os custos do gás natural tiveram um grande aumento no início do ano, como também já tinha sido verificado na figura 1.7. Ao longo do ano os custos que lhe estão associados têm tendência a rondar os 60 000 €. Já os custos da energia elétrica vão-se mantendo constantes ao longo do ano, sofrendo uma ligeira diminuição nos meses de verão. Esta diminuição é reflexo da maior produção de energia elétrica pelos painéis fotovoltaicos nos meses de Verão comparativamente aos meses de Inverno, como se verificou na figura 1.9. Assim, verifica-se que para o ano de 2022 o gás natural teve um custo associado de cerca de 685 000 € e a energia elétrica de cerca 65 000 €, ver Anexo A.1.

Diante destes valores, a ARCH, SA tem analisado e estudado opções que visam reduzir o consumo de gás natural. A alternativa mais presente é a substituição do aquecimento das olarias a gás natural por energia elétrica utilizando fontes alternativas. Esta opção tem sido estudada dado que nas olarias ocorre um elevado consumo de energia, que consequentemente implica um elevado consumo de gás natural. Minimizando este recurso, seria então possível reduzir os custos a ele associado ao longo do tempo.

1.3 Objetivos do trabalho

Tal como já foi referido, a indústria cerâmica é um dos setores industriais com maiores consumos de energia. Isto implica que o processamento dos seus produtos necessite de grandes quantidades de energia, o que provoca custos elevados. Assim sendo, é necessário o estudo de opções que permitam reduzir estes consumos e consequentemente os custos associados.

Com isto, o tema do trabalho consiste no estudo da substituição do aquecimento das olarias 2.1 e 2.2, na fábrica 2, a gás natural por energia elétrica. Para o desenvolvimento deste estudo foram estipulados alguns objetivos, sendo eles:

- Avaliação das perdas térmicas nas olarias em estudo e otimização do consumo de gás natural.
- Estudo a utilização de fontes alternativas, como painéis foto-voltaicos, para a produção de energia elétrica.
- Otimização das fontes de calor que são geradas por energia elétrica.
- Avaliação da possibilidade de independência do gás natural para realizar o aquecimento das olarias.

1.4 Organização da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em seis grandes capítulos.

Neste primeiro capítulo é feita uma breve introdução onde é apresentada a empresa onde foi desenvolvido este trabalho, a ARCH, SA. É ainda abordada a eficiência energética na indústria, abordando mais concretamente o consumo energético no setor cerâmico e particularmente na ARCH, SA. Por fim, são referidos os principais objetivos desta dissertação bem como a sua organização.

No segundo capítulo, é realizada uma descrição mais detalhada sobre o processo produtivo realizado na empresa, olhando mais especificamente para a etapa que ocorre dentro das olarias. De seguida é feita uma descrição mais promenorizada da olaria 2, secção na qual foi realizado todo este estudo.

No terceiro capítulo é realizado um levantamento energético das diversas utilidades utilizadas na olaria 2, e apresentam-se os custos e consumos específicos associados. Aqui são ainda avliados os geradores de calor, equipamentos necessários à manutenção das condições da olaria. Por fim, são abordados de forma geral conceitos relacionados com

paineis solares uma vez que a incorporação destes na empresa constituem um dos objetivos de todo o estudo.

No capítulo quatro são apresentados conceitos teóricos relativos à transferência de calor, de forma a facilitar a compreensão do que acontece dentro da área em estudo. Ainda neste capítulo são apresentados os valores obtidos para as perdas térmicas na olaria 2.1 e na olaria 2.2.

No quinto capítulo apresentam-se propostas para melhorar as perdas térmicas e o impacto que estas têm no consumo de gás natural nos geradores. É feita uma pequena análise de mercado de forma a saber os valores de investimento necessários para que estas melhorias fossem possíveis. Posteriormente, é analisada a possibilidade de eliminar o gás natural, recorrendo maioritariamente a energia elétrica para o aquecimento das olarias. Por fim, é estudada a possibilidade de se incorporarem fontes de energia renováveis, de forma a diminuir os custos associados ao consumo de energia elétrica proveniente da rede.

Finalmente, no capítulo seis são expostas as conclusões gerais do desenvolvimento da dissertação, e apresentam-se sugestões de trabalho futuro a desenvolver como forma de complementar o estudo realizado.

2. Processo Produtivo – Olaria 2

De forma a realizar-se um melhor enquadramento do trabalho, é abordado o processo produtivo de uma forma geral e posteriormente são descritas mais ao pormenor as etapas que ocorrem dentro das olarias uma vez que é aqui que o objetivo do trabalho incide.

Por fim, é realizada uma caracterização mais pormenorizada da olaria 2 dado que é nesta que vai ser desenvolvido o estudo.

2.1. Processo produtivo das louças sanitárias

O processo de fabrico das peças cerâmicas é um processo extenso e complexo envolvendo etapas desde o design e conceção do produto até à industrialização da peça final.

O processo de fabrico da empresa pode ser dividido em cinco grandes etapas: a produção das pastas, a produção de vidro, a produção de moldes, a modelação e o fabrico da peça final.

Numa fase inicial tem-se a idealização da peça, realizando um esboço da mesma de forma a ser possível criar uma peça modelo. De seguida, com este modelo criado, é então produzido o primeiro molde que vai ser sujeito a diversos testes para que se verifiquem os requisitos necessários. Enquanto estes requisitos não forem cumpridos na sua totalidade, o molde vai sofrer continuamente alterações.

Obtido então o primeiro molde, também designado por molde original, avança-se para a etapa seguinte, que consiste na produção das madres. Estas peças são produzidas a partir do molde original e serão utilizadas para construir novos moldes com características iguais ao molde que lhe deu origem, ou seja, a madre é um molde usado para produzir moldes com características iguais. Estes moldes dependendo de diversos fatores podem ser construídos a partir de diferentes materiais como o gesso, a borracha ou a resina. Com as madres já prontas segue-se então a produção de outros moldes que depois de concluídos sofrem um processo de secagem. Posteriormente, são encaminhados para o interior das olarias onde são empilhados em série, formando as baterias. É aqui que se vai iniciar a formação das novas peças.

Outro ponto importante antes de entrar nos processos que ocorrem dentro da olaria é a produção da pasta. Nesta etapa de produção vai ser preparada a barbotina que irá formar a peça final. Para isto, existe um doseamento das matérias-primas como por exemplo

argilas, feldspatos, água, entre outros. Os diversos materiais são misturados sob agitação até que se obtenha uma pasta final devidamente homogenizada.

Entrando então na etapa do processo que ocorre nas olarias, vai iniciar-se aí o enchimento dos moldes com a pasta, realizando-se de seguida o seu vazamento. Este consiste na injeção de ar comprimido para o interior do molde de forma a que a pasta que está em excesso seja removida e a que permanece no interior do molde seja forçada contra as paredes do molde, de modo a dar forma e definição à peça. Após este processo de enchimento, as peças são extraídas do molde permanecendo na bancada sujeita às condições de temperatura e humidade da olaria, que deve ser mantida a cerca de 25 °C a 30 °C. De seguida, as peças vão ser encaminhadas para uma pré-secagem no interior da olaria. Assim, expostas ao ar ambiente, tornam-se mais resistente ao manuseamento, não sofrendo tantas deformações. Esta fase de secagem é denominada de secagem verde e tem o objetivo de reduzir o teor de humidade da peça para cerca de 13 %.

Porém, esta etapa não é suficiente para remover a água necessária para que se possa proceder à cozedura. Assim, as peças são encaminhadas para as estufas, onde vai ocorrer outra etapa de secagem, a qual se denomina de secagem branca. Estes dois processos de secagem têm como objetivo fazer com que as peças atinjam um estado seco ou pelo menos muito próximo dele.

Removida toda a água as peças são levadas para a secção de vidragem onde vão ser pulverizadas com um esmalte rico em sílica que lhes vai conferir o aspeto vítreo desejado no produto final. Dependendo das peças este esmalte pode não ser branco, uma vez que é ele o responsável pelo aspeto colorido de algumas peças sanitárias. Para além de tornar as peças apelativas à vista este revestimento é também responsável por conferir impermeabilidade e melhorar a dureza e a resistência química das mesmas. Este processo é realizado em cabines de vidragem, recorrendo ao uso de pistolas de ar comprimido.

Terminado o processo de vidragem segue-se o processo da cozedura. Nesta etapa as peças vão ser sujeitas a elevadas temperaturas, cerca de 1200 °C, o que lhes provoca alterações físicas e químicas que lhes conferem as propriedades e as características pretendidas. Esta etapa é determinante para o produto final, uma vez que os defeitos que não foram detetados em etapas anteriores aqui vão ser reconhecidos.

Finalmente, as peças vão ser sujeitas a um processo de escolha com o objetivo de separar as peças com ou sem defeito. As peças que apresentam todos os requisitos são

reencaminhadas para o armazém, onde são embaladas para posterior venda. As peças que apresentam defeitos são avaliadas conforme a amplitude desse mesmo defeito. Peças com elevado grau de defeito não recuperável são descartadas enquanto que peças com defeitos que possam ser corrigidos são enviadas para o retoque. Este pode ser a quente ou a frio dependendo do grau da irregularidade. Se for um defeito bastante considerável tem de ser resolvido por retoque a quente enquanto que se for um defeito mínimo pode ser corrigido recorrendo apenas ao retoque a frio. As peças que sofrem retoque a quente são novamente recozidas enquanto as que sofrem retoque a frio depois deste seguem novamente para o processo de escolha.

Tal como foi referido este processo de produção é bastante extenso e completo, e está representado no diagrama da figura 2.1.

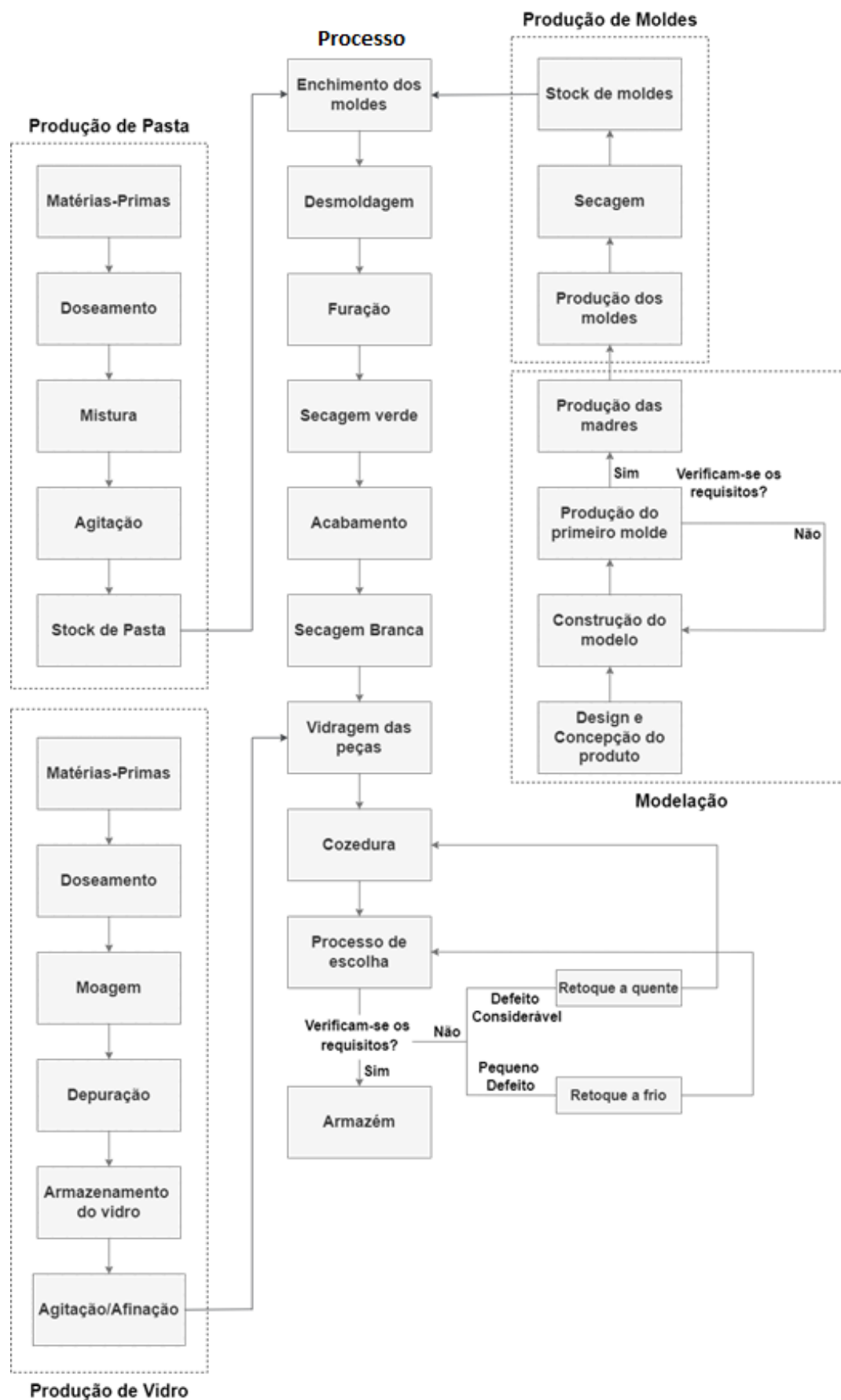


Figura 2.1 - Diagrama do processo de produção das louças sanitárias.

2.1.1. Etapa de conformação

Sendo o objetivo da dissertação a avaliação energética da olaria 2 é importante perceber mais ao pormenor quais as etapas envolvidas no processo de produção das peças cerâmicas que aí ocorrem.

O conjunto de processos físicos que ocorre nas olarias é designado de conformação uma vez que é aqui que é dada forma às peças. Esta é constituída por diversas etapas, que vão ser apresentadas de seguida.

1. Enchimento dos moldes

O processo da conformação inicia-se com o enchimento dos moldes onde ocorre a entrada de barbotina no molde. Como os reservatórios de pasta estão a um nível superior relativamente aos moldes, este processo vai ser conseguido através da força gravítica sendo que a pasta vai escoar desde os reservatórios até aos moldes.

2. Formação de espessura

Depois da injeção da pasta nos moldes, esta irá permanecer nos moldes algum tempo dependendo das características requeridas para a peça. Quanto maior for este tempo, maior será a espessura obtida pela peça, e vice-versa. Esta etapa é conseguida devido ao material poroso que se encontra na base da constituição dos moldes que extrai a água da barbotina conseguindo formar uma parede com uma dureza aceitável, na interface da pasta e do molde.

3. Vazamento

Esta etapa do processo consiste na remoção do excesso de pasta existente no molde, utilizando ar comprimido. A injeção de ar comprimido é importante pois provoca a projeção da pasta contra as paredes do molde, ajudando a peça a ganhar uma forma bem definida.

4. Endurecimento, Abertura do molde e Desmoldagem

À medida que o material dos moldes vai absorvendo a água da pasta, esta vai ganhando consistência até um ponto em que já é possível a sua extração para as bancadas de acabamento. Assim, ocorre a abertura do molde e a desmoldagem da peça.

5. Pré-secagem e Acabamento

Nesta última etapa, as peças permanecem em repouso na olaria durante aproximadamente 24 horas, sujeitas às condições de temperatura específicas no interior das mesmas, cerca de 25-30 °C. Esta fase é denominada secagem verde, e é responsável pela primeira redução do teor de água nas peças cerâmicas. O objetivo desta etapa é garantir que as peças abandonem esta unidade com um teor de água de cerca de 13 %.

Neste tempo, são efetuadas todas as alterações necessárias, como por exemplo furos, entre outros, de forma a tornar a peça funcional. Ao fim de 3 a 4 dias, estas vão ser submetidas à fase de acabamento. Esta fase é caracterizada pelo aprefeiçoamento das peças para que possam ser posteriormente enviadas para as etapas seguintes como a secagem branca e a vidragem, que já não ocorrem dentro das olarias.

Como já referido, a energia térmica tem uma grande importância na indústria cerâmica. Especificamente nas olarias, o fornecimento desta energia tem diversos objetivos, sendo que estes, em conjunto, têm um grande peso no sucesso da etapa da conformação e, posteriormente, da secagem.

O fornecimento de calor promove a secagem dos moldes de uma dia para o outro, de forma a que estes estejam em condições de serem utilizados numa nova etapa de conformação. Para além disso, ainda aquece ligeiramente os moldes, o que permite que ao introduzir a barbotina não ocorra choque térmico entre esta e as paredes dos moldes. A fase da desmoldagem, contribui para o continuo endurecimento da peça antes desta ser extraída do interior do molde. Já no fim da etapa de conformação, este calor fornecido vai contribuir para que ocorra a secagem verde das peças.

2.2. Descrição da Olaria 2

Uma vez que o desenvolvimento do trabalho tem como espaço físico a olaria 2 é de extrema importância e interesse o estudo mais pormenorizado desta secção da empresa. Na figura 2.2 está, então, apresentada a planta interior da olaria 2, marcada pela secção com os contornos mais escuros. A olaria 2 está dividida em 3 secções: a olaria 2.1, a olaria 2.2 e a olaria 2.3 que atualmente não se encontra ativa sendo utilizada para armazenamento.

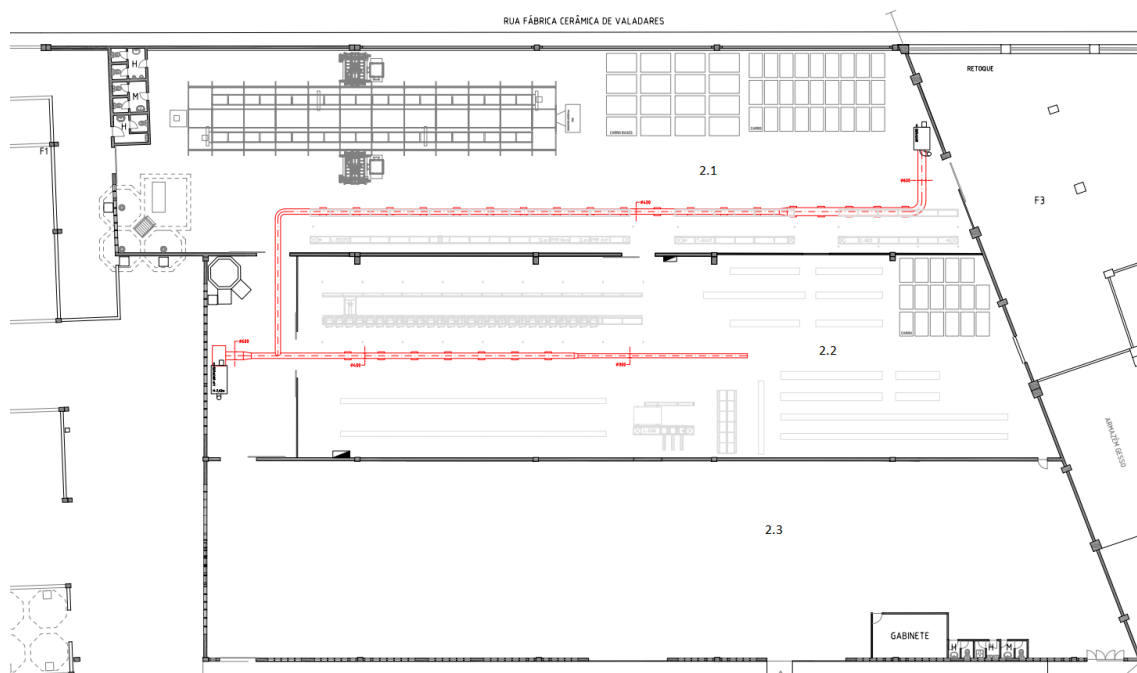


Figura 2.2 - Planta interna da Olaria 2.

A secção em estudo, olaria 2.1 e 2.2, ocupa uma área de aproximadamente 2090 m². Na olaria 2.1 existem 3 baterias com as bancadas de acabamento associadas e ainda uma máquina de bases. Já na olaria 2.2 existem 6 baterias com as bancadas de acabamento a elas associadas e 6 baterias sem bancada de suporte. Todas estas baterias estão representadas na imagem como retângulos a cinzento claro.

De forma a atingir as condições de temperatura requeridas para a pré-secagem das peças e para a secagem dos moldes, a olaria 2 está equipada com 3 geradores de calor. Um dos geradores está apenas direccionado para a máquina das bases sendo considerando um sistema isolado não interferindo com o ambiente restante da olaria. Os outros dois geradores são responsáveis pelo aquecimento da olaria 2.1 e da olaria 2.2 separadamente. O calor produzido por estes dois últimos é encaminhado para as olarias através de condutas, representadas a vermelho na planta da figura 2.2. Como se pode ver também na figura, a conduta do gerador da olaria 2.1 está montada de forma a poder dar suporte quando necessário ao gerador da olaria 2.2, no entanto a ligação entre as duas condutas normalmente encontra-se fechada.

Tanto na olaria 2.1 como na olaria 2.2 existem ventoinhas de insuflação e extração que estão colocadas ao nível mais superior da parede e distribuídas ao longo da parede de forma a realizar a renovação do ar das olarias. As ventoinhas de insuflação são

responsáveis pela introdução de ar no interior da olaria enquanto que as de extração são responsáveis por encaminhar o ar do interior da olaria para as zonas exteriores.

Relativamente à cobertura destas duas olarias é importante realçar que o material do telhado é extremamente antigo não permitindo qualquer isolamento térmico do espaço. No entanto, foi colocada uma camada de lã de rocha, no teto, de forma a melhorar o isolamento térmico dos dois espaços. Para além disso, é também importante realçar que a olaria 2.2 se encontra praticamente toda revestida com isolamento, e a olaria 2.1 apenas tem a parede virada para o exterior com isolamento. A olaria 2.1 apresenta apenas uma parede exterior, e a olaria 2.2. não apresenta nenhuma parede virada para o exterior.

De forma a ser possível um controlo das condições de temperatura dentro de cada olaria, cada uma está equipada com dois sensores. Um destes sensores está associado ao gerador correspondente à olaria, medindo a temperatura a que o ar quente está a entrar nas condutas. O outro sensor está colocado no interior da olaria e tem como objetivo controlar a temperatura neste espaço que deve permanecer a 27 °C na olaria 2.1 e 29 °C na olaria 2.2.

3. Levantamento e avaliação energética da olaria 2

Neste capítulo é realizado o levantamento energético da situação atual da secção da empresa em estudo – olaria 2. Este estudo constitui uma etapa importante do trabalho uma vez que sem ele não é possível definir melhoramentos relativamente ao consumo energético da empresa nas olarias.

Assim, vão ser analisados e apresentados os valores dos consumos de cada utilidade, eletricidade e gás natural, na olaria 2, sendo posteriormente comparados com os respetivos consumos globais na empresa. Esta análise teve como base o período desde Março de 2022 até Fevereiro de 2023, ou seja, o último ano de produção. Para além dos consumos, vão ser ainda apresentados os custos energéticos associados a cada consumo.

3.1. Energia Elétrica

Na olaria 2 a energia elétrica é utilizada essencialmente na iluminação da mesma, nos ventiladores e no sistema de ar comprimido.

O valor do consumo mensal desta utilidade nesta olaria foi de fácil obtenção uma vez que este é registado num contador. Anualmente foram contabilizados cerca de 80 250 kWh, ver Anexo A.2, o que corresponde a um consumo médio mensal de 6 688 kWh. Com o objetivo de comparar os consumos da olaria 2 relativamente aos consumos totais da empresa foi consultada a respetiva fatura elétrica, estando os resultados presentes na figura 3.1. No Anexo A.2 estão apresentados os resultados e cálculos associados à obtenção destes valores.

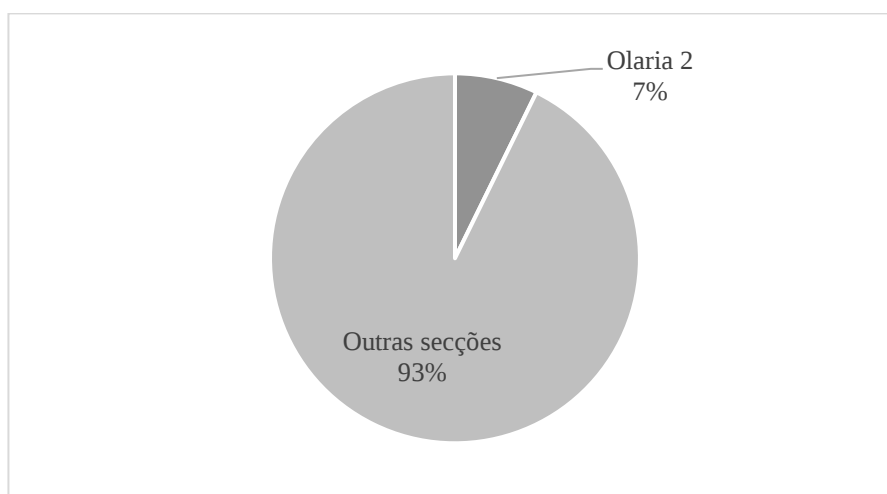


Figura 3.1 - Consumo de energia elétrica na olaria 2 comparativamente ao consumo total da empresa.

Analisando o esquema da figura 3.1 verifica-se que apenas uma pequena parte do consumo médio mensal de energia elétrica deve-se ao funcionamento da olaria 2, cerca de 7 %. Associado a este consumo está um custo de cerca de 341 € por mês.

3.2. Gás Natural

O gás natural é empregue na olaria sobretudo pelos geradores de calor que nela existem. Estes equipamentos, como referido anteriormente, têm como objetivo proporcionar determinadas condições de temperatura à olaria, de forma a que ocorra a secagem diurna das peças e a secagem noturna dos moldes.

De forma a conhecer os consumos de cada um dos geradores desta olaria, foram colocados, durante uma semana, contadores horários em cada um de maneira a ser possível o registo dos seus consumos.

De maneira a poder comparar o consumo desta utilidade na olaria 2 com o consumo de toda a empresa, foram analisadas as faturas referentes a esta utilidade para os meses em estudo. Na figura 3.2 está presente um gráfico que compara estes dois consumos. No Anexo A.2 estão, também, apresentados os cálculos realizados para obtenção destes valores.

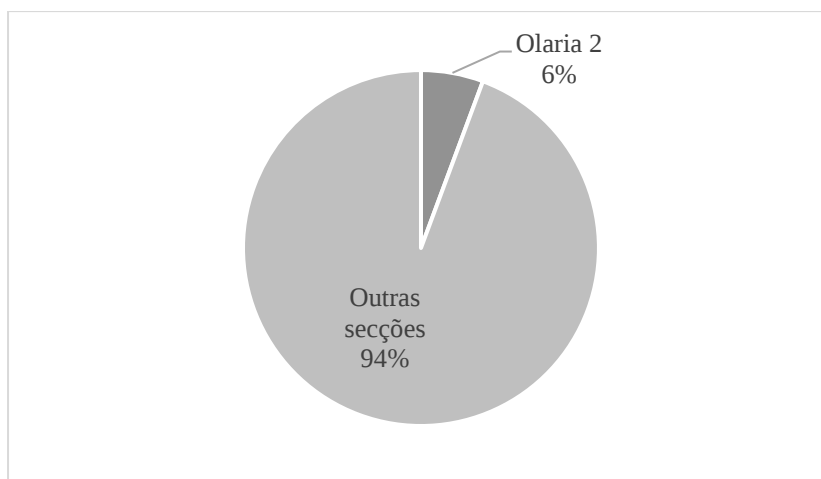


Figura 3.2 - Consumo de gás natural na olaria 2 comparativamente ao consumo total da empresa.

Como se pode ver pelo gráfico da figura 3.2, a olaria 2 apenas é responsável pelo consumo de uma pequena parte de gás natural, cerca de 6 %. No entanto, a esta pequena percentagem está associado um custo médio mensal de aproximadamente 4 019 €, que é cerca de dez vezes maior do que o correspondente à energia elétrica.

3.3. Consumos e custos específicos

Para que seja possível comparar consumos energéticos das diferentes utilidades utilizadas na olaria 2 foram convertidos os respetivos consumos para kWh, apresentando-se na figura 3.3 o resultado obtido. Os valores necessários à construção da figura 3.3 estão no Anexo A.2.

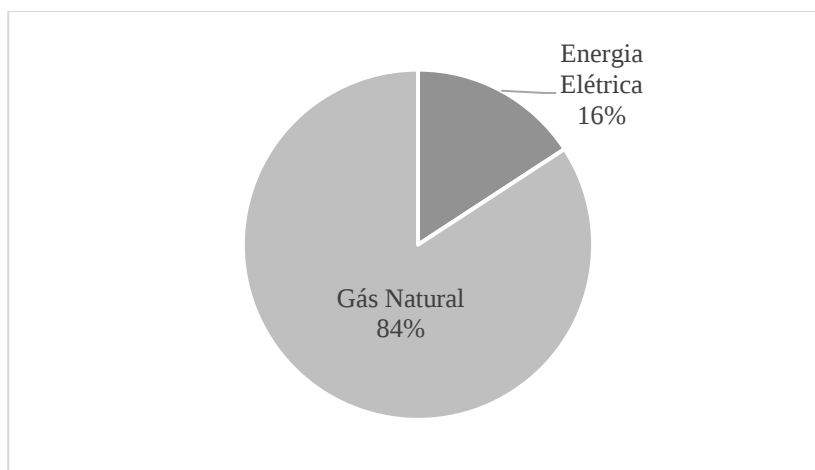


Figura 3.3 – Percentagem dos consumos médios das diferentes utilidades na olaria 2.

A utilidade mais consumida na olaria 2 é o gás natural, sendo que mensalmente são consumidos 35 641 kWh. No caso da energia elétrica, e como já foi referido, em média, por ano, são consumidos 80 250 kWh na olaria 2 que corresponde a um consumo médio mensal de 6 688 kWh.

Mais importante do que os consumos energéticos, os valores dos custos específicos de energia são os melhores indicadores relativamente à sustentabilidade de uma empresa. Nesta análise, estes indicadores apenas irão refletir os consumos e custos associados a uma parte do processo, a que ocorre na olaria 2.

Para estes cálculos teve-se em conta que por mês, em média, se produzem 3 600 peças na olaria 2, somando as produções da olaria 2.1 e 2.2. Na tabela 3.1, estão apresentados os resultados de consumos e custos específicos associados a cada utilidade. No Anexo B.1 estão apresentados os cálculos associados a estes valores.

Tabela 3.1 - Resultados obtidos para os consumos e custos específicos associados a cada utilidade utilizada na olaria 2.

	Energia Elétrica	Gás Natural
Consumo específico	1,86 kWh/peça	9,90 kWh/peça
Custo específico	0,095 €/peça	1,09 €/peça
Custo da utilidade	341 €/mês	3 921 €/mês

O custo total energético associado à etapa de conformação, na olaria 2, para a produção de uma unidade de produto, corresponde a cerca de 1,18 €/peça.

3.4. Geradores de calor

Uma vez que os utilizadores de gás natural apresentam uma contribuição significativa nos custos energéticos associados a esta etapa do processo, serão abordados mais promenorizadamente neste capítulo.

Assim, será feita uma descrição dos geradores de calor assim como do seu funcionamento. Como o nome indica, estes equipamentos, neste contexto, têm como função gerar ar quente que ao ser insuflado na olaria permite criar as condições de operação necessárias à secagem que aí ocorre.

Na figura 3.4, está presente um esquema de um gerador de calor, com o respetivo circuito de ar quente, de forma a perceber melhor o funcionamento destes equipamentos.

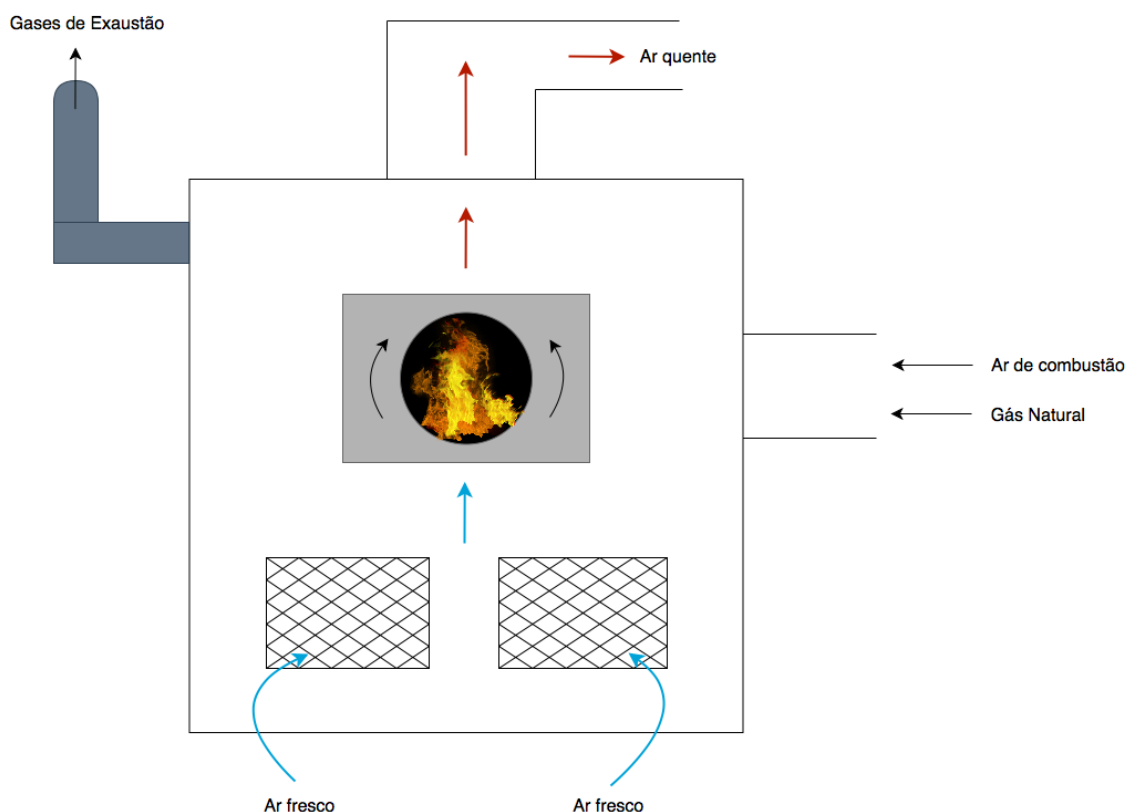


Figura 3.4 - Esquema de um gerador de calor com o circuito de ar de aquecimento.

O ar, representado pelas setas azuis, é captado da olaria através de ventiladores passando através de uma grelha. Posteriormente, o ar atravessa um permutador, zona representada a cinzento claro, onde o ar fresco recebe o calor proveniente da combustão do gás natural. O ar é aquecido e enviado de seguida pelas condutas, setas a vermelho, para ser então distribuído ao longo das olarias. As condutas estão colocadas junto ao teto das olarias e apresentam várias grelhas ao longo do seu comprimento por onde o ar quente vai saindo à medida que atravessa a conduta, entrando na olaria.

A combustão do gás natural inicia-se no queimador e posteriormente ocorre dentro de uma câmara, a qual se designa por câmara de combustão. No queimador entra simultaneamente o comburente, ar, igualmente admitido por um ventilador, e o combustível, o gás natural. Da combustão resultam os gases de exaustão que são expelidos para o exterior da olaria através de uma chaminé como representado na figura 3.4.

De acordo com o esquema representado na figura 3.4, o balanço de energia ao gerador, considerando estado estacionário, pode ser escrito pela equação 3.1.

$$q_{perdas} = \sum H_{saídas} + \Delta H_{298 K}^0 - \sum H_{entradas} \quad (3.1)$$

Na olaria 2 existem dois geradores que têm como objetivo aquecer o ar ambiente da olaria. Tanto o gerador da olaria 2.1 como o da 2.2 funcionam em horário com horas noturnas e diurnas. O gerador da olaria 2.1 funciona das 3:00 h até às 11:00 h, funcionando assim cerca de 8 horas durante um dia, para manter a olaria 2.1 a 27 °C. Já o gerador da olaria 2.2 funciona desde as 00:00 h até as 15:00 h, funcionando cerca de 15 horas num dia de trabalho e assim conseguir assegurar a temperatura de 29 °C nesta olaria. Tanto o gerador da olaria 2.1 como o gerador da olaria 2.2 funcionam 5 dias por semana, de segunda a sexta feira, não operando aos fins de semana.

3.5. Painéis Solares Fotovoltaicos

Sendo a energia elétrica uma das utilidades consumidas nesta olaria 2, é importante avaliar a possibilidade de garantir esta energia, ou parte dela, recorrendo a fontes alternativas e renováveis – painéis fotovoltaicos. O uso das energias renováveis além de evitar a emissão dos gases de efeito de estufa, contribui para uma maior sustentabilidade económica e ambiental. Esta análise adquire ainda mais importância uma vez que a ARCH, SA adquiriu e instalou, no ano de 2022, um conjunto de painéis fotovoltaicos, cujas características estão apresentadas no Anexo C.

Os painéis solares são utilizados para produzir energia elétrica a partir da radiação solar. Este é diferente de um painel solar térmico uma vez que este último tem como função transformar energia solar em energia térmica para, por exemplo, aquecimento de águas. No entanto, para produzir energia elétrica é preciso mais do que apenas o painel solar. Para que seja possível gerar eletricidade o painel solar tem de estar acompanhado de um conversor de corrente em corrente alternada, de um gerador e de um quadro elétrico. Assim, este conjunto é denominado por sistema fotovoltaico [12].

O principal componente de um painel solar é, normalmente, o silício, material semicondutor. Os materiais semicondutores, ao serem aplicados nas células devem absorver numa gama mais vasta do espectro solar. Estes são a base das células solares: células muito finas, formadas por uma camada de silício e pistas coletoras que recebem a radiação solar. Cada célula solar produz uma pequena quantidade de energia, assim as células estão, habitualmente ligadas entre si, formando um painel solar [12].

O funcionamento de um painel solar fotovoltaico inicia-se com a incidência da luz solar nas células solares. Esta radiação é composta por partículas de pequena dimensão, os fótons, que possuem energia e formam uma tensão elétrica ao incidir nos painéis. Ao entrarem em contacto com os painéis, vão transferir a sua energia para os eletrões presentes nos átomos de silício forçando a sua movimentação. A este fenómeno chama-se efeito fotovoltaico [12].

Uma célula fotovoltaica constituída por silício não produz energia elétrica. Para que ocorra a geração de energia elétrica é necessária a existência de um campo elétrico, ou seja, uma diferença de potencial entre duas zonas da célula. Esta diferença de potencial ocorre através de processos de dopagem do silício. A dopagem é o processo pelo qual se introduzem impurezas numa rede cristalina de um material semiconductor de forma a alterar as suas propriedades físicas adequadamente. Este processo cria na célula fotovoltaica duas camadas, uma do tipo P e outra do tipo N, que possuem um excesso de cargas positivas e negativas relativamente ao silício, respetivamente. Na junção PN os átomos livres do lado N deslocam-se para o lado P onde ficam capturados. Estas cargas capturadas vão dar origem a um campo elétrico [13].

Como é de prever, os painéis são instalados de forma a maximizar a exposição solar, preferencialmente a sul, com vista a otimizar o seu rendimento. Assim, tendo em conta a variação do ângulo de incidência da luz solar ao longo do ano, o cenário ideal é o painel solar ser instalado com uma determinada inclinação. O melhor grau da inclinação para o painel depende sobretudo da localização específica onde este vai ser instalado.

Para a análise do desempenho elétrico de um módulo fotovoltaico é fundamental o estudo da curva que relaciona a tensão com a corrente. Esta curva é denominada curva característica I-V e apresenta a mesma forma para qualquer painel fotovoltaico em condições Standard Test Conditions (STC), que correspondem a uma irradiância de 1000 W/m² e temperatura de 25 °C. Na figura 3.5 está apresentada uma curva I-V típica de um painel fotovoltaico [13].

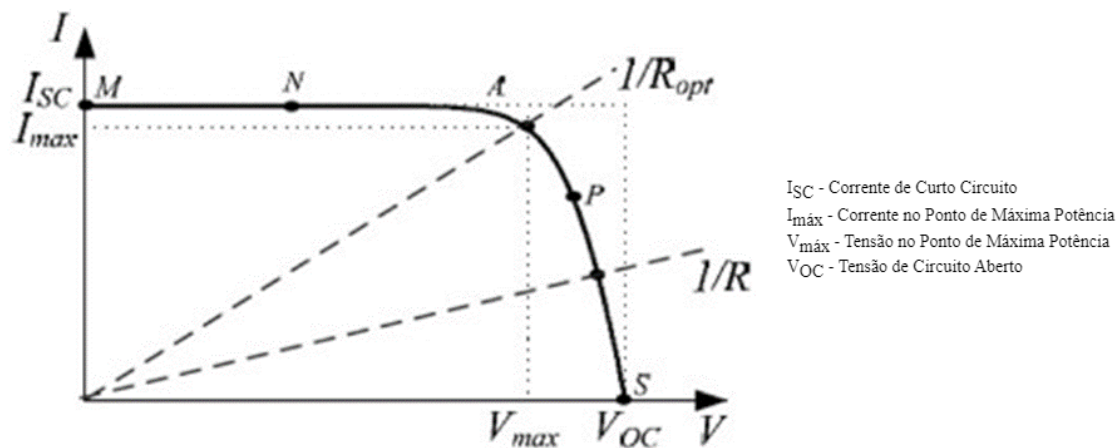


Figura 3.5 - Curva I-V de um painel fotovoltaico [13].

Na representação da curva característica considera-se que o painel está a produzir corrente positiva, quando recebe radiação solar, e é aplicada uma tensão positiva nos terminais do mesmo.

Se os terminais dos painéis estiverem conectados a uma resistência variável R , o ponto de operação vai ser determinado pela interseção da curva com a reta de carga. Já para uma carga resistiva, a característica da carga é uma linha reta com a inclinação $1/R$. O funcionamento de um painel pode ocorrer de duas formas distintas. Se a intensidade da corrente elétrica se encontrar na zona entre os pontos M-N da curva e para um R baixo, o painel é considerado como uma fonte de corrente constante, sendo o valor da corrente igual ao da corrente de curto circuito, I_{SC} . Se, por outro lado, estiver entre os pontos P-S com um R elevado, o seu comportamento é semelhante a uma fonte de tensão constante e o valor da tensão é igual ao valor da tensão em circuito aberto, V_{OC} . A potência máxima é transferida na zona entre os pontos N-P, correspondendo ao ponto de coordenadas $I_{máx}$ e $V_{máx}$ [13].

Assim, um painel fotovoltaico pode ser caracterizado pelos seguintes parâmetros [13]:

- Corrente de curto circuito (I_{SC}) – corrente máxima que um dispositivo pode produzir, correspondendo a tensão nula e, consequentemente, potência nula.
- Tensão de circuito aberto (V_{OC}) – tensão máxima que um painel pode produzir correspondendo a corrente nula e, consequentemente, potência nula.
- Ponto de potência máxima ($P_{máx}$) – valor máximo de potência que um painel consegue gerar. Corresponde ao ponto em que a curva I-V tem o seu valor máximo.

- Corrente no ponto de máxima potência ($I_{\text{máx}}$) – valor da corrente correspondente à potência máxima.
- Tensão no ponto de máxima potência ($V_{\text{máx}}$) – valor da tensão que corresponde à potência máxima.

4. Avaliação das perdas térmicas

Uma vez que, como já referido, as olarias não se encontram bem isoladas termicamente é necessário, para um levantamento energético mais completo, quantificar as perdas de calor associadas a estes espaços.

Este estudo foi realizado individualmente para cada uma das olarias que integra a olaria 2, ou seja, foi feito um estudo para a olaria 2.1 independente do estudo da olaria 2.2. Depois de uma análise às condições dos espaços foi possível concluir que em ambas as olarias existem paredes onde as perdas são mais significativas que em outras, sendo que os fenómenos de transferência de calor que estão envolvidos entre o interior e o exterior são a condução, a convecção e a radiação.

4.1. Conceitos gerais sobre transferência de calor

O calor é a energia que é transferida quando existe um gradiente de temperatura, dirigindo-se sempre da zona que está a uma temperatura mais elevada para a zona a uma temperatura inferior.

Como já referido, existem três mecanismos para a transferência de calor: a condução, a convecção e a radiação.

Nas olarias, o calor perde-se desde o centro da olaria até à superfície da parede por convecção; através da parede o calor é transferido por condução até à superfície exterior da parede; desde a superfície exterior da parede e espaço exterior o calor pode ser transferido por convecção e radiação.

Na figura 4.1 está representada um modelo de uma parede vertical onde ocorrem os três fenómenos de transferência de calor.

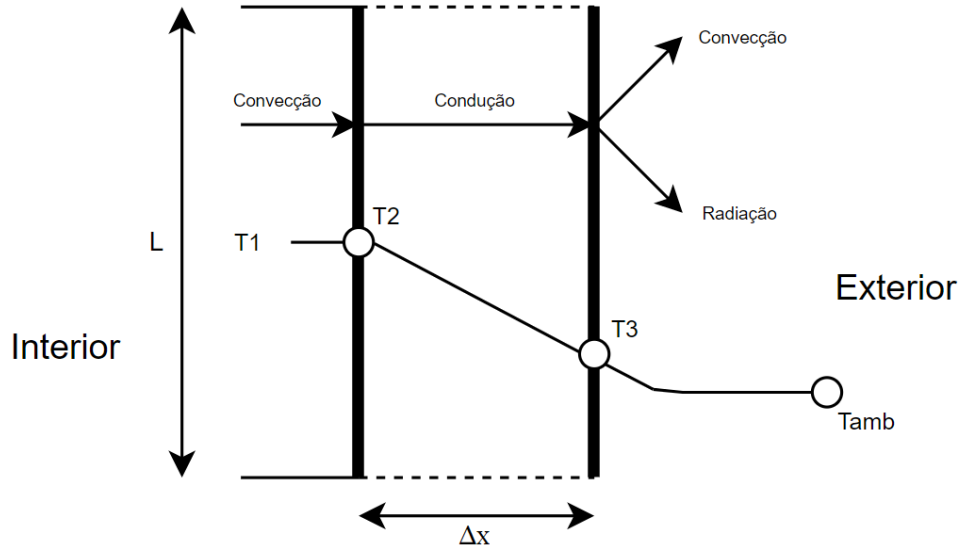


Figura 4.1 - Representação dos três mecanismos de transferência de calor numa parede vertical.

Inicialmente, para quantificar as perdas de energia foi determinado o coeficiente de transferência de calor por convecção ($h_{\text{convecção}}$). Para o caso de uma parede vertical, como a apresentada, e em condições de convecção natural, o cálculo deste coeficiente pode ser obtido através de correlações empíricas adimensionais. A equação 4.1 é uma das mais utilizadas uma vez que é válida numa vasta gama de valores de número de Rayleigh (Ra_L), $10^4 < Ra_L < 10^{13}$ [14].

$$Nu = \left(0,825 + \frac{0,387 * Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2 \quad (4.1)$$

Nesta correlação empírica as propriedades do fluído devem ser avaliadas à temperatura média entre o fluído e a parede – T_{filme} .

Sendo o número de Prandtl, Pr , dado pela equação 4.2.

$$Pr = \frac{cp * \mu}{k} \quad (4.2)$$

Com cp o calor específico do fluído, k a condutividade térmica e μ a viscosidade do fluído.

O número de Rayleigh, Ra_L , é dado pela equação 4.3, e a viscosidade cinemática calculada através da equação 4.4.

$$Ra_L = Gr_L * Pr = \frac{g * \beta * \Delta T * L^3}{\mu_{cinemática}^2} * Pr \quad (4.3)$$

$$\mu_{cinemática} = \frac{\mu}{\rho} \quad (4.4)$$

Sendo Gr_L é o número de Grashof, g é a aceleração gravítica, β é o coeficiente de expansão volumétrica do fluído, ΔT é a diferença positiva de temperatura entre o fluído e a parede, $\mu_{cinemática}$ é a viscosidade cinemática do fluído, ρ é a massa volúmica do fluído e L é a dimensão característica. A dimensão característica pode ter diversas definições conforme a geometria do sistema em questão [14]:

- Para placas ou tubos verticais, L é o comprimento do tubo ou altura placa;
- Para tubos horizontais a dimensão característica a usar é o diâmetro externo do tubo;
- Para placas horizontais, L é o lado de um quadrado se se tratar de uma placa quadrada; no caso de placas retangulares L é a média aritmética das dimensões do retângulo; L é igual a $0,9D$ se for uma placa circular.

Sendo então, o coeficiente de transferência de calor obtido pela equação 4.5 [14].

$$h_{convecção} = \frac{Nu * k}{L} \quad (4.5)$$

Com o valor do coeficiente de convecção é então possível calcular o calor transferido por convecção, através da equação 4.6 [14].

$$Q_{convecção} = A * h_{convecção} * \Delta T = \frac{\Delta T}{R_{conv}} \quad (4.6)$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{conv} * A} \quad (4.7)$$

Onde, A é a área da superfície de transferência de calor, R_{conv} é a resistência à convecção e ΔT é a diferença de temperaturas entre o fluído e a superfície.

No entanto também existem correlações simplificadas para calcular o coeficiente de transferência de calor por convecção natural, quando o fluido é o ar. Estas correlações estão apresentadas na tabela 4.1 e são as que foram utilizadas ao longo deste trabalho.

Tabela 4.1 - Correlações empíricas para o cálculo do coeficiente de transferência de calor para convecção natural para o ar a 1 atm [15].

Geometria	Gr Pr	Equações	
		h (Btu/(h ft ² °F)) L ou D (ft) ΔT (°F)	h (W/(m ² K)) L ou D (m) ΔT (K)
Placas e tubos verticais	$10^4 - 10^9$	$h = 0,28 (\Delta T/L)^{1/4}$	$h = 1,37 (\Delta T/L)^{1/4}$
	$> 10^9$	$h = 0,18 (\Delta T)^{1/3}$	$h = 1,24 (\Delta T)^{1/3}$
	$10^3 - 10^9$	$h = 0,27 (\Delta T/D)^{1/4}$	$h = 1,32 (\Delta T/D)^{1/4}$
	$> 10^9$	$h = 0,18 (\Delta T)^{1/3}$	$h = 1,24 (\Delta T)^{1/3}$
Placas horizontais: com a superfície superior aquecida ou a superfície inferior arrefecida	$10^5 - 2 \times 10^7$	$h = 0,27 (\Delta T/L)^{1/4}$	$h = 1,32 (\Delta T/L)^{1/4}$
	$2 \times 10^7 - 3 \times 10^{10}$	$h = 0,22 (\Delta T)^{1/3}$	$h = 1,52 (\Delta T)^{1/3}$
Placas horizontais: com a superfície superior aquecida ou a superfície inferior arrefecida	$3 \times 10^4 - 3 \times 10^{10}$	$h = 0,12 (\Delta T/L)^{1/4}$	$h = 0,59 (\Delta T/L)^{1/4}$

Para além do calor transferido por convecção, como já referido, o calor também se pode transferir por condução e radiação.

O calor transferido por condução tem como base a Lei de Fourier e a equação utilizada é a 4.8 [14].

$$Q_{condução} = -k * A * \frac{dT}{dx} \quad (4.8)$$

Considerando paredes planas, área constante, obtém-se a equação 4.9.

$$Q_{condução} = k * A * \frac{\Delta T_{parede}}{\Delta x} = \frac{\Delta T_{parede}}{R} \quad (4.9)$$

Sendo, Δx a espessura da placa e R a resistência à condução.

Por último, o calor transferido por radiação, considerando um pequeno corpo num grande espaço, é calculado através da equação 4.10 [14].

$$Q_{\text{radiação}} = \sigma * \varepsilon * A * (T_s^4 - T_{\text{surr}}^4) \quad (4.10)$$

Onde, σ é a constante de Stefan-Boltzmann igual a $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, ε é a emissividade da superfície, T_s é a temperatura da superfície e T_{surr} é a temperatura da vizinhança.

4.2. Resultados obtidos para as perdas de calor

Inicialmente, foram realizadas medições das temperaturas dos espaços à volta das olarias, assim como no interior de cada uma. Na olaria 2.1 mediram-se as temperaturas durante a semana de 6 a 10 de Março e de 13 a 17 de Março foram medidas na olaria 2.2. Estas medições foram realizadas utilizando um higrómetro. As características deste equipamento estão apresentadas no Anexo D.

Para iniciar os cálculos foi necessário calcular as propriedades físicas do fluído em causa. Embora, e como já referido, as propriedades do fluído devam ser avaliadas à temperatura do filme, foi usada para efeitos de cálculo a temperatura média entre o interior e o exterior da olaria, para cada orientação da parede a analisar. Assim, utilizando a tabela da figura B.3 presente no Anexo B.2 foi possível calcular as propriedades físicas do ar às diferentes temperaturas. No mesmo Anexo estão apresentados os cálculos utilizados para a obtenção destas propriedades.

Foi necessário visitar os espaços em estudo de forma a identificar as paredes que estão orientadas para o exterior da fábrica e aquelas que estão orientadas para espaços interiores da empresa. De realçar que todos os cálculos foram realizados tendo em conta as condições mais adversas que são as de Inverno. Considerou-se então, que no exterior as condições médias ao longo do inverno, correspondem a cerca de 10°C e 80,8 % de humidade relativa, valor consultado no Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA) [16].

Olaria 2.1

A olaria 2.1 apresenta três fronteiras orientadas para o interior da fábrica, a parede Sul, Este e Oeste, e duas fronteiras direcionadas para o exterior, a parede Norte e o teto. Na tabela B.1 do Anexo B.2 apresentam-se as dimensões e características de todas as superfícies. Apesar da parede Sul estar virada para o interior da fábrica, as perdas foram consideradas desprezáveis uma vez que a parede Sul separa a olaria 2.1 da olaria 2.2 que se encontram aproximadamente à mesma temperatura. Esta olaria apresenta parte da

parede Norte isolada, cerca de 65 %, com placas de esferovite de 5 cm de espessura, sendo que o resto da parede não apresenta qualquer isolamento térmico.

Assim, foram calculadas as perdas de calor que ocorrem nesta olaria em cada direção, estando os resultados apresentados na tabela 4.2. Os cálculos associados a estes resultados estão apresentados no Anexo B.2.

Tabela 4.2 - Perdas de calor pelas diferentes fronteiras da olaria 2.1.

Perdas de calor (W)	
Parede Norte	3 196
Teto	5 669
Outras Paredes	774
Total	9 639

Analisando os resultados obtidos, pode concluir-se que as maiores perdas ocorrem pelo teto. Este resultado advém do facto do teto apresentar um fraco isolamento, uma grande área e ser uma fronteira com o exterior. Também a parede Norte apresenta perdas de calor de valor razoável comparativamente às restantes paredes. As restantes paredes em causa apenas são a parede Este e a parede Oeste, uma vez que como referido, as perdas de calor pela parede Sul são desprezáveis. Assim, conclui-se que as perdas de calor mais consideráveis ocorrem pelas fronteiras com o exterior, como era esperado.

Na figura 4.2 está representado um gráfico que tem como objetivo comprar as perdas de calor que ocorrem pelas várias fronteiras da olaria 2.1.

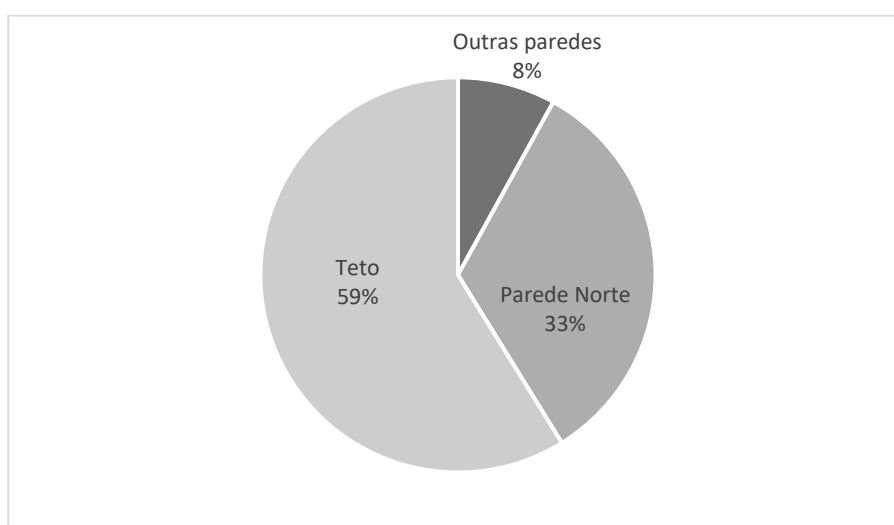


Figura 4.2 - Comparação da energia dissipada pelas diferentes fronteiras da olaria 2.1.

A figura 4.2 mostra que grande parte das perdas de calor que acontecem na olaria 2.1 ocorrem pelo teto, cerca de 59 %, e as restantes perdas acontecem através das três paredes restantes, pela Oeste e Este cerca de 8 % e pela Norte cerca de 33 %, sendo que esta última também representa uma grande parte da energia que é perdida para o exterior.

Olaria 2.2

A olaria 2.2 apresenta as quatro paredes viradas para o interior da fábrica, sendo que a única fronteira com o exterior é o teto. As dimensões e características das paredes que formam a olaria 2.2 também estão apresentadas na tabela B.1 do Anexo B.2. Da mesma forma que aconteceu na olaria 2.1, para a parede Norte desta olaria vão ser desperazadas as perdas de calor uma vez que esta serve de fronteira com a olaria 2.1, que se encontra a uma temperatura semelhante à da olaria em estudo. Esta olaria, apresenta a parede Norte, Sul e Este e ainda o teto isolados com placas de 5 cm de esferovite.

Na tabela 4.3 estão apresentados os resultados obtidos para as perdas de calor da olaria 2.2, tendo-se separado os resultados em teto e outras paredes uma vez que o teto é a única fronteira para o exterior.

Tabela 4.3 - Perdas de calor pelas diferentes fronteiras da olaria 2.2.

Perdas de calor (W)	
Teto	4 583
Outras Paredes	4 536
Total	9 120

Com estes resultados, é possível perceber que as perdas que ocorrem pelo teto da olaria têm um valor praticamente igual às perdas que ocorrem pelas restantes paredes.

De forma a ser mais fácil a análise da influência que cada uma das fronteiras desta olaria tem nas perdas de calor foi construído um gráfico onde está representada a percentagem de perdas de calor pelo teto e pelas paredes. Este gráfico está apresentado na figura 4.3.

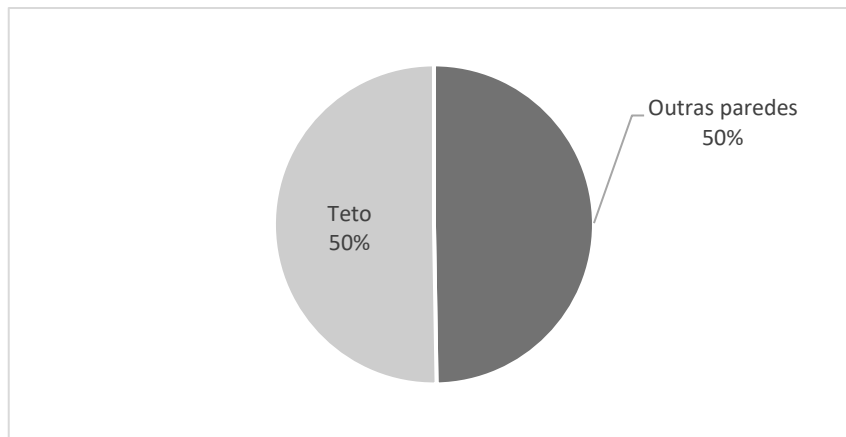


Figura 4.3 - Comparação da energia dissipada pelas diferentes fronteiras da olaria 2.2.

Como se pode verificar as perdas de calor através no teto da olaria representam cerca de 50 % das perdas de calor totais da área em estudo, sendo que corresponde a um valor bastante elevado. No entanto uma das paredes, a parede Sul, é uma grande contribuição para o valor de perdas comparativamente à parede Este e Oeste. Podemos ver esta diferença de contribuições no gráfico da figura 4.4. Os valores usados para a construção do gráfico da figura 4.4 estão apresentados no Anexo B.2.

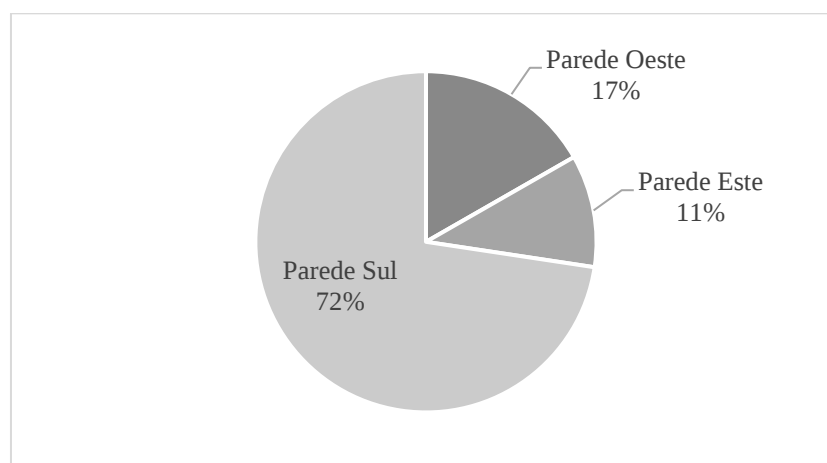


Figura 4.4 - Análise das perdas pelas paredes da olaria 2.2.

Como se pode ver pela figura 4.4, a maior contribuição para as perdas térmicas que ocorrem pelas paredes é as perdas que acontecem pela parede sul, representando cerca de 72 %. Isto acontece possivelmente devido ao facto desta parede separar a olaria de um espaço que funciona como armazém e que está a uma temperatura bastante baixa uma vez que está quase sempre à sombra e tem muitas entradas de ar vindo do exterior.

5. Medidas de Otimização - Resultados

De forma a tentar otimizar o aquecimento das olarias e reduzir assim os custos energéticos, foram analisadas várias medidas:

- Isolamento de paredes e tetos: desta maneira pode ser avaliada a poupança obtida em gás natural, sem esquecer as necessidades de investimento;
- Transição para energia elétrica: análise do custo desta energia alternativa para cobrir as necessidades da olaria.
- Incorporação de energia fotovoltaica: avaliação da cobertura elétrica dos painéis fotovoltaicos já instalados na empresa.

Assim, nos próximos subcapítulos estão apresentados os resultados que dizem respeito a estas medidas.

5.1. Isolamento térmico das olarias – Consumo de Gás Natural

Analisados os valores das perdas térmicas concluiu-se que os maiores valores destas perdas estão associados a fronteiras com o exterior. Assim, foram pensadas algumas medidas de forma a diminuir estas perdas através das fronteiras. As fronteiras em causa são os tetos das duas olarias e a parede Norte da olaria 2.1. As medidas pensadas consistem em:

- Aumentar ou melhorar o isolamento já existente nas fronteiras;
- Colocar isolamento nas fronteiras em causa.

Olaria 2.1

Relativamente às melhorias na olaria 2.1, foram ponderadas as hipóteses de colocar placas de isolamento no teto, uma vez que este não apresenta praticamente nenhum isolamento térmico. A opção pensada foi a aplicação de placas de esferovite de 5cm sendo que são essas que são aplicadas nas restantes paredes da olaria 2. No que diz respeito à parede Norte, esta só se encontra parcialmente isolada, cerca de 65 %, o que levou à hipótese de se isolar os restantes 35 % com o mesmo material.

Na tabela 5.1 está apresentada a comparação dos valores das perdas atuais com os valores das perdas se fosse aplicado o restante isolamento. Os cálculos associados a estes valores estão apresentados no Anexo B.3.

Tabela 5.1 - Comparação do valor das perdas atuais com a situação de melhoria na olaria 2.1.

	Perdas Atuais (W)	Perdas com isolamento (W)	Redução
Parede Norte	3 196	2 976	
Teto	5 669	4 170	
Perdas Totais	9 639	7 920	18 %

Analisando os valores, pode-se constatar que aplicando as medidas de melhoria, a redução das perdas seria cerca de 18 %. No entanto, é importante saber que custos de investimento estariam associados a esta possibilidade de melhoria. Assim, foi analisado o mercado de forma a saber qual seria o custo médio associado a cada proposta.

Para completar a parede Norte com placas de esferovite de 5 cm, seria preciso cobrir uma área de 70,7 m², isto teria um custo associado de aproximadamente 530 €, uma vez que, as placas têm um preço associado de 7,49 €/m². No que diz respeito à melhoria que seria efetuada no teto desta olaria, o custo seria mais elevado uma vez que teria de se aplicar o isolamento em 1053,9 m², tendo isto, um custo associado de cerca de 7 894 €. O total para efetuar estas duas propostas corresponde a 8 424 €.

Olaria 2.2

No caso da olaria 2.2 a única melhoria proposta seria aumentar o isolamento do teto, sendo que este se encontra isolado com placas de 5 cm de esferovite, a melhoria consistia em duplicar esta espessura. Como já foi visto, a parede Sul também apresenta uma grande contribuição para as perdas térmicas que ocorrem nesta olaria. No entanto, analisando o caso específico desta parede, verificou-se que não compensava melhorar o isolamento, uma vez que a diminuição das perdas não era considerável.

Assim, existem duas formas de atingir o objetivo de redução de perdas pelo teto, colocar placas de 5 cm em junção com as que já existem ou retirar as placas que já se encontram aplicadas e substituir por placas de 10 cm de espessura. Na tabela 5.2 estão presentes os valores das perdas atuais da olaria, e os valores das perdas quando aplicada esta medida de otimização, de forma a analisar qual a redução em causa. Os cálculos associados estão presentes no Anexo B.3.

Tabela 5.2 - Comparação do valor das perdas atuais com a situação de melhoria na olaria 2.2.

	Perdas Atuais (W)	Perdas com isolamento (W)	Redução
Teto	4 583	2 898	
Perdas Totais	9 120	7 434	18 %

Analisando a tabela 5.2, a olaria 2.2 submetida às melhorias propostas apresenta uma redução no valor das perdas bastante significativa, cerca de 18 %. Como já foi referido existiram duas formas de melhorar este isolamento térmico. A aplicação de uma dupla camada de placas de esferovite de 5 cm de espessura, numa área de 1036,5 m², teria um custo associado de 7 763 €. Já uma substituição do isolamento já existente por um que consistia em placas de 10 cm de espessura teria um custo de cerca de 10 873 €, uma vez que o custo unitário destas placas é de 10,49 €/m². Assim, a melhor forma de obter esta redução de 18 % seria a aplicação de uma dupla camada de isolamento, uma vez que a primeira camada de isolamento já se encontra aplicada.

Assim, analisando as três propostas de otimização e os seus custos, conclui-se que o investimento total a ser realizado na olaria 2 seria de aproximadamente 16 187 €. De ter em atenção que estes custos apenas estão associados ao investimento nos materiais, não contabilizando a mão de obra que seria necessária para a aplicação destas melhorias.

5.1.1. Consumo de Gás Natural

Ao reduzir as perdas térmicas, consequentemente vai ser reduzido o consumo de gás natural nos geradores. O gerador funciona em dois momentos: arranque e manutenção. O arranque não vai ser considerado para este estudo, apenas se vai estudar o estado estacionário, que corresponde às condições de operação das olarias. Para isto, o consumo de gás natural no intervalo de tempo correspondente ao arranque dos geradores vai ser descontado em todos os cálculos.

Em estado estacionário, a energia que é cedida pelo ar quente à olaria vai ser igual às perdas de calor que nela ocorrem, pois nesta fase apenas se pretende manter a olaria à temperatura a que foi colocada no final do período de arranque. Assim, através das equações 5.1 e 5.2 foi possível relacionar as perdas de calor nas duas diferentes situações com a temperatura a que o ar quente tem de entrar na olaria.

$$Q_{perdas} = \Delta H_{ar quente} \quad (5.1)$$

$$Q_{perdas} = \dot{m}_{ar quente} * cp * (T_{ar quente} - T_{olaria}) \quad (5.2)$$

Sendo,

$\dot{m}_{ar quente}$ – caudal de ar quente insuflado para a olaria.

cp – calor específico do ar à temperatura média.

$T_{ar quente}$ – temperatura a que o ar quente entra na olaria.

T_{olaria} – temperatura a que se encontra a olaria.

Considerou-se que para o caso de aplicação de isolamento o caudal de ar quente que entra na olaria é igual ao da situação atual, apenas entra a uma temperatura diferente. Uma vez que as perdas são menores, a temperatura a que o ar terá de entrar vai consequentemente ser menor. No Anexo B.4 estão apresentados os cálculos para a obtenção destes valores. Na tabela 5.3 estão presentes os valores obtidos para a temperatura do ar quente na situação em que há redução das perdas comparativamente aos valores da temperatura do ar quente atualmente.

Tabela 5.3 - Comparação dos valores de temperatura do ar quente nas duas situações em estudo, para temperatura da olaria a 27 °C.

	T_{ar quente} na situação atual	T_{ar quente} na situação de isolamento
Olaria 2.1	60 °C	54 °C
Olaria 2.2	60 °C	54 °C

Como era de esperar na nova situação, a temperatura do ar quente será menor do que a situação real da empresa. Em ambas as olarias, a temperatura do ar pode ser reduzida para 54 °C.

Com estes valores já calculados é relevante estudar o que esta redução de temperatura do ar pode implicar em consumos e custos de gás natural.

Na figura 5.1 pode-se ver um esquema do gerador onde estão representadas todas as correntes de entrada e saída.

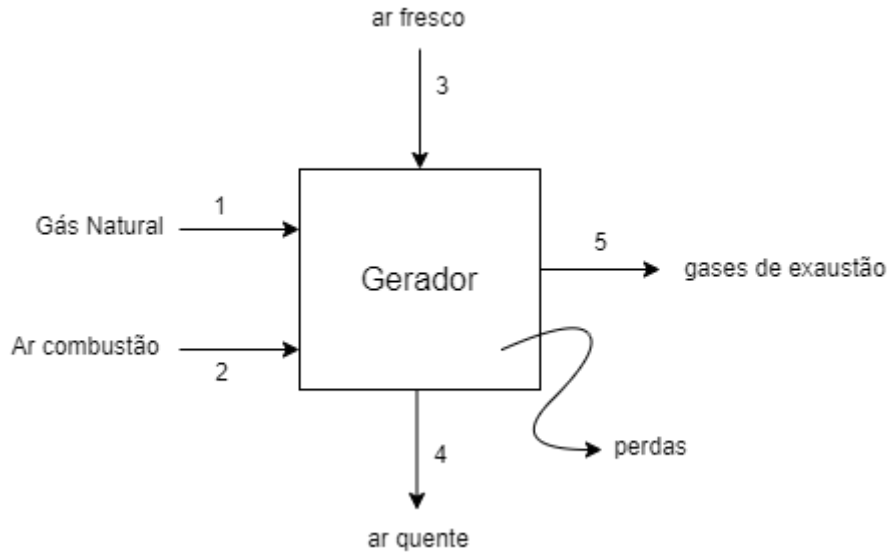


Figura 5.1 - Esquema representativo do gerador e das suas correntes de entrada e saída.

De acordo com o balanço realizado ao gerador, presente na equação 3.1, e conhecendo as características das diferentes correntes é possível calcular o caudal volumétrico de gás natural utilizado para o aquecimento da corrente de ar quente (4). Considerando que as perdas que ocorrem no gerador são característica intrínsecas do equipamento, estas não vão sofrer alterações consoante a temperatura do corrente 4. Sabendo também que as condições de entrada das correntes não iria ser alterada, foi então encontrada uma relação entre a temperatura da corrente 4 e o caudal volumétrico de gás natural consumido, presentes na equação 5.3 e 5.4. Considera-se também que o estado de referência corresponde à temperatura de entrada das correntes 1 e 2, sendo portanto a entalpia de entrada de cada uma dessas correntes igual a zero.

$$q_{perdas} = \sum H_{saídas} + PCS * V_{GN} - \sum H_{entrada} \quad (5.3)$$

$$q_{perdas} = \dot{m}_{ar\ quente} * cp * (T_4 - T_3) + PCS * V_{GN} + m_5 * cp_5 * (T_5 - T_{ref}) \quad (5.4)$$

Com estas equações é possível relacionar o caudal volumétrico de gás natural consumido na situação atual e o de gás natural consumido na situação de isolamento. Esta relação está apresentada na equação 5.5 e 5.6.

$$V_{GN\ 2} = \frac{V_{GN\ 1} * PCS + [\dot{m}_{ar\ quente} * cp * (T_{ar\ quente} - T_{ar\ fresco})]_1 - [\dot{m}_{ar\ quente} * cp * (T_{ar\ quente} - T_{ar\ fresco})]_2}{PCS} \quad (5.5)$$

$$V_{GN\ 2} - V_{GN\ 1} = \frac{[\dot{m}_{ar\ quente} * cp * (T_{ar\ quente\ 1} - T_{ar\ quente\ 2})]}{PCS} \quad (5.6)$$

Onde o número 1 corresponde à situação atual da empresa e o número 2 corresponde à situação de consumo na situação com isolamento. Na equação 5.5 considerou-se como aproximação que a variação da entalpia da corrente 5 era aproximadamente igual nas duas situações.

Na tabela 5.4 estão apresentados alguns dados sobre o gás natural que é consumido na empresa.

Tabela 5.4 - Características do gás natural usado na empresa.

Massa Volúmica	0,766 kg/m ³
PCS	9 500 kcal/m ³
	11,03 kWh/m ³
Preço unitário	0,11 €/kWh

No Anexo B.4 apresentam-se os cálculos realizados para a obtenção destes valores. Na tabela 5.5 estão presentes os valores de caudal volumétrico de gás natural necessário para as duas situações em estudo, na situação de manutenção do ar quente, isto é, retirando o consumo que acontece no arranque e que será considerado o mesmo nas duas situações. Como os geradores de calor funcionam por ciclos, isto é, não estão continuamente a aquecer ar durante todo o horário de funcionamento, foi necessário medir o caudal horário. Este caudal foi então medido nos dois geradores da olaria 2 tendo-se obtido o valor de 30 m³/h em ambos os geradores. Os cálculos correspondentes aos valores apresentados encontram-se no Anexo B.4.

Tabela 5.5 - Comparação dos consumos de gás natural nas duas situações em estudo.

	V_{Gás Natural} na situação atual / Energia	V_{Gás Natural} na situação de isolamento / Energia	Consumo no arranque
Olaria 2.1	215 m ³ /semana 2 369 kWh/semana	184 m ³ /semana 2 033 kWh/semana	7,50 m ³ /semana 82,7 kWh/semana
Olaria 2.2	598 m ³ /semana 6 599 kWh/semana	511 m ³ /semana 5 633 kWh/semana	7,50 m ³ /semana 82,7 kWh/semana
TOTAL	430 488 kWh/ano	367 958 kWh/ano	

Analisando a tabela 5.5 pode concluir-se que o caudal de gás natural utilizado semanalmente em cada olaria diminui razoavelmente. Na olaria 2.1 esta utilidade diminui cerca de 16 % e na olaria 2.2 diminui cerca de 15 %. Esta redução vai refletir-se nos valores dos custos ao final de uma semana e consequentemente ao fim de um ano.

Para a olaria 2.1 o custo atual associado ao consumo de gás natural é de aproximadamente 261 € por semana. Na situação em que se procede ao isolamento para a diminuição das perdas térmicas, este custo reduz para cerca de 224 € semanais, correspondendo a 10 733 € por ano. Relativamente à olaria 2.2 o custo semanal associado ao consumo de gás natural na olaria 2.2 ronda os 726 € e após a colocação de isolamento na referida olaria diminui para cerca de 620 € semanais, equivalendo a 29 742 € anuais. Como conclusão:

- Atualmente o consumo anual de gás natural é de 430 488 kWh sendo o seu custo de 47 354 € por ano.
- Após isolamento, o consumo anual de gás natural passa para 367 958 kWh com um custo de 40 475 € anuais.

Apesar da diminuição da temperatura do ar quente não parecer muito significativa verifica-se que é possível ao fim do ano pouparem-se cerca de 6 878 € apenas na olaria 2. Tendo em conta o investimento necessário de 16 187 € para obter esta poupança, determina-se pela equação 5.7 o tempo de retorno do investimento.

$$\text{Retorno do investimento} = \frac{\text{Custo do investimento}}{\text{Poupança anual}} \quad (5.7)$$

Obtém-se então um tempo de retorno de aproximadamente 2 anos e 5 meses, o que torna este investimento possível de ser viável, uma vez que é inferior a 5 anos.

5.2. Transição para energia elétrica e custos associados

Considerando que se procede ao isolamento das paredes e teto das duas olarias em estudo, e que por isso o consumo de gás natural nas duas olarias passa a ser de 367 958 kWh por ano, ver tabela 5.5, analisa-se aqui o custo correspondente às necessidades de aquecimento no caso de se fazer a transição para energia elétrica proveniente da rede de distribuição.

Para isto, foi necessário conhecer os horários de funcionamento dos dois geradores em causa, dos custos da energia elétrica dos diversos períodos horários: período de ponta, período de cheia, período de vazio e período de super vazio. Para isto foi consultada uma fatura elétrica, correspondente ao mês de Abril de 2023.

De realçar que o estudo que vai ser realizado não conta, mais uma vez, com o período de arranque do gerador, uma vez que este teria de continuar a ser a gás natural pois de outra forma iria demorar muito mais tempo. Assim, no período de funcionamento dos geradores de calor foi retirado o tempo associado ao arranque, cerca de 3 minutos.

A divisão em diferentes períodos horários e os custos unitários associados a cada período estão apresentados no Anexo B.5 assim como todos os cálculos associados ao estudo da transição de gás natural para energia elétrica.

Olaria 2.1

Na olaria 2.1, o gerador funciona das 03:00 h até às 11:00 h, ou seja, 8 horas, sendo que 0,05 horas dizem respeito ao arranque. Portanto, para o estudo apenas vão ser consideradas 7,95 horas. Conhecendo então a divisão horária para a tarifa de eletricidade foi possível saber a percentagem de tempo que o gerador funciona nos diferentes períodos, estando as mesmas representadas na figura 5.2.



Figura 5.2 - Divisão do horário de funcionamento do gerador da olaria 2.1 pelos diversos períodos.

Sabendo estas percentagens e conhecendo a quantidade de energia que é necessária fornecer à olaria 2.1 semanalmente 2033 kWh, é possível saber a quantidade de energia que é preciso fornecer durante cada período. Na tabela 5.6 estão apresentados os valores de energia associados a cada período assim como o custo associado, por dia.

Tabela 5.6 - Consumo e custo diários associados a cada período de funcionamento da olaria 2.1.

	Ponta	Cheia	Vazio	Super vazio
Energia (kWh)	76,7	76,7	102,3	150,9
Custo (€)	5,3	5,2	5,7	8,1

Assim, analisando a tabela 5.6 conclui-se que o custo diário que se iria obter no caso de realizar a transição de gás natural para energia elétrica seria de 24,3 €/dia, somando os vários custos de cada período. Isto corresponde a um custo anual de 5 839 €/ano.

Sendo que o valor de custo calculado para o caso de só ser consumido gás natural era de 10 733 € anuais, substituindo por energia elétrica iria existir uma poupança de cerca de 4 894 € por ano.

Olaria 2.2

O horário diário de funcionamento do gerador da olaria 2.2 é das 00:00 h até às 15:00 h, funcionando um total de 15 horas. Sabendo que 0,05 horas são utilizadas para o arranque, apenas se vai considerar para os cálculos que o gerador funciona 14,95 horas/dia. Foi

também determinada a percentagem de tempo correspondente a cada um dos períodos horários definidos para tarifa elétrica. Esta separação está presente na figura 5.3.

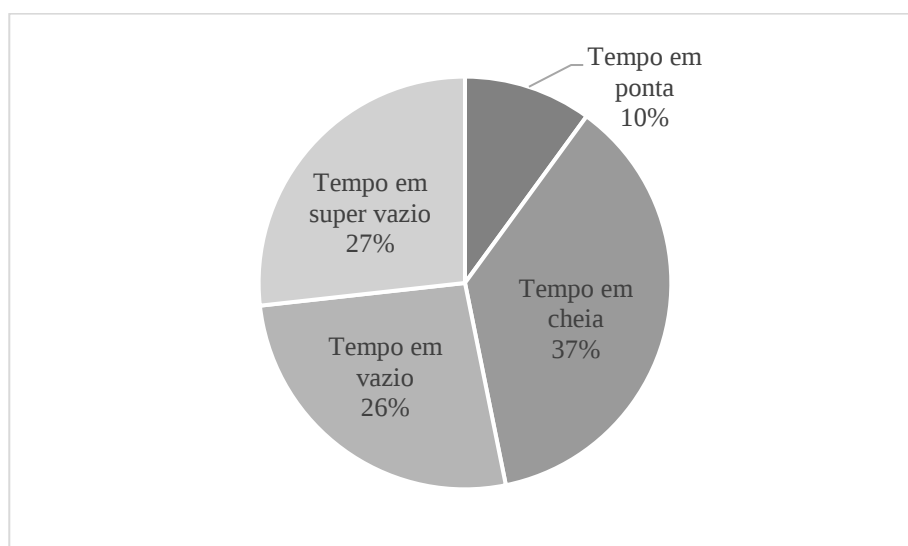


Figura 5.3 - Divisão do horário de funcionamento do gerador da olaria 2.2 pelos diversos períodos.

Conhecendo estas percentagens e sabendo que é preciso fornecer cerca de 5 633 kWh semanais é então possível saber a quantidade de energia que é preciso fornecer à olaria em cada período do dia. Na tabela 5.7 estão apresentados os valores de energia associados a cada período assim como o custo diário associado.

Tabela 5.7 - Consumo e custo diários associados a cada período de funcionamento da olaria 2.2.

	Ponta	Cheia	Vazio	Super vazio
Energia (kWh)	113,0	414,5	297,7	301,4
Custo (€)	7,9	28,0	16,6	16,2

Através na tabela 5.7, somando os custos diários associados a cada período, sabe-se que por dia o custo seria de 68,7 €, o que iria corresponder a aproximadamente 16 476 € anuais.

No caso de só usar gás natural este custo anual seria de 29 742 €, o que representa uma poupança de 13 266 € por ano.

Na globalidade da olaria 2, com esta transição para energia elétrica proveniente da rede, o custo total seria de 22 315 € e seriam poupados cerca de 18 161 € por ano.

Nesta situação o período de arraque seria sempre feito com a ajuda do gás natural, sendo este cortado quando se atingisse a temperatura de operação da olaria. A partir desse momento o aquecimento passaria a ser mantido com a ajuda elétrica. Para que o período de manutenção funcionasse a energia elétrica teriam de ser instaladas duas grandes resistências à saída das ventoinhas por onde entra o ar que vai ser aquecido, para posteriormente seguir pelas condutas até entrar na olaria.

Os custos de investimento associados a estas mudanças não foram contabilizados, portanto não é possível analisar a viabilidade econômica para a instalação das resistências.

5.3. Estudo da viabilidade da incorporação de energia fotovoltaica

Conforme os objetivos do trabalho desenvolvido é importante estudar a possibilidade de se incorporarem energias renováveis, de forma a reduzir a energia elétrica que é consumida da rede. Assim, vai ser estudada neste capítulo a viabilidade da aplicação de energia fotovoltaica como forma de redução do consumo de energia elétrica da rede, uma vez que já existem painéis fotovoltaicos instalados na empresa.

Atualmente existem 432 painéis monocristalinos da marca LONGi, modelo HI-M04, instalados na empresa com uma potência nominal de 455 Wp e uma área de 2 m². As características mais promenorizadas dos painéis solares existentes na empresa estão apresentadas no tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Características dos painéis instalados na empresa.

Marca	LONGi
Modelo	Hi MO 4
Quantidade	432
Potência de pico	455 Wp
Estrutura	Monocristalinos
Dimensões	2094 x 1038 x 35 mm
Área Total	869,4 m ²
P_{máx}	455 W
V_{OC}	49,8 V
V_{mp}	41,6 V
I_{mp}	10,93 A
I_{SC}	11,65 A
NOCT	44 °C

Para este estudo recorreu-se ao uso da ferramenta SCE.ER disponibilizado pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). Esta consiste num programa informático de definição de requisitos mínimos e de verificação regulamentar, para sistemas de aproveitamento de fontes de energia renováveis (FER). Não é, no entanto, um programa de apoio a projetos de sistemas FER, exceto no sentido limitado em que se estabelecem os requisitos mínimos de projeto e a compatibilidade deste com regulamentos. Não é, também, um programa desenvolvido para pré-dimensionamento de sistemas FER, embora possa ser utilizado para esta função [17].

Para utilizar o programa é necessário, inicialmente, selecionar o local ou definir um novo, selecionar a vertente regulamentar REH (Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação) ou RECS (Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços). De seguida, é necessário selecionar a tecnologia que se pretende instalar, neste caso é Sistema Solar Fotovoltaico, acedendo à respetiva interface, onde se realizam os cálculos de produção de energia. Já na interface escolhida, existem diversos campos para preencher com as informações do sistema que se pretende instalar.

No caso em estudo específico foi colocada a localização Valadares uma vez que é aqui que a empresa se encontra. Relativamente à categoria foi selecionada a opção “Edifícios de Comércio e Serviços” e de seguida escolheu-se a tecnologia “Solar Fotovoltaico”.

Ao selecionar a tecnologia o programa automaticamente remete para uma nova interface onde vão ter se ser colocados dados relativos à instalação fotovoltaica que se pretende instalar e ainda os dados das necessidades que se pretende satisfazer.

Apesar de na instalação existirem 432 painéis, neste software o limite é 400 e portanto foi esse o número de módulos utilizados. Foram preenchidos os campos sobre as características dos painéis com base nos valores da tabela 5.8. De seguida, selecionou-se o tipo de montagem escolhendo-se a opção “montagem fixa”.

Por fim, antes de realizar a simulação foi necessário colocar as necessidades energéticas por hora nos dias de semana e nos dias de fins de semana. Para isto ativa-se a função “autoconsumo”, o que vai desencadear a abertura de uma nova interface onde existem vários inputs que é preciso completar.

Para preencher estes parâmetros é então preciso conhecer as necessidades da olaria 2 nas diferentes horas do dia. Sabe-se que os dois geradores funcionam em diferentes horários e apenas durante 5 dias da semana. Há períodos do dia em que os dois geradores funcionam em simultâneo, outros em que só um funciona e ainda outros onde nenhum está em funcionamento. Para isto, é então preciso conhecer as necessidades a cada hora de cada olaria. Na tabela 5.9 e 5.10 estão apresentados estes dados, respetivamente para a olaria 2.1 e 2.2. Para os valores apresentados, os cálculos encontram-se no Anexo C.

Tabela 5.9 - Dados sobre as necessidades energéticas da olaria 2.1.

Olaria 2.1	
Horário de funcionamento	03:03 – 11:00
Horas em funcionamento	7,4 h/semana
	1,5 h/dia
Necessidades	2 033 kWh/semana
	274,7 kW
	51 644 W a cada hora

Tabela 5.10 - Dados sobre as necessidades energéticas da olaria 2.2.

Olaria 2.2	
Horário de funcionamento	00:03 – 15:00
Horas de funcionamento	20,1 h/semana
	4 h/dia
Necessidades	5633 kWh/semana
	280,2 kW
	74 826 W a cada hora

Com os dados relativos à potência necessária a cada hora preenche-se então os campos da interface de autoconsumo. A figura 5.4 mostra o preenchimento feito e os valores estatísticos.

Definição de perfil de consumo elétrico

Consumo horário: segunda-feira a sexta-feira

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	200	23	24
Potência (W)	74826	74826	74826	126470	126470	126470	126470	126470	126470	126470	126470	74826	74826	74826	74826	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Consumo horário: fins de semana

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Potência (W)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ocupação mensal

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on

Estatísticas

segunda a sexta: média 63981 W <=> ##### kWh por dia

fins de semana: média 0 W <=> 0,0 kWh por dia

em base anual: média 45826 W <=> ##### kWh por dia <=> 401710 kWh por ano

Figura 5.4 - Dados horários de autoconsumo.

Estando estes valores preenchidos regressa-se à interface do Sistema Solar Fotovoltaico e é possível realizar a simulação.

Realizada esta simulação é emitido um PDF com vários dados que são calculados e analisados. Aqui tem-se acesso aos dados inseridos e obtidos em forma de resumo, aos dados relativos ao local e ao clima, características da configuração e da operação do sistema solar fotovoltaico, dados sobre o aproveitamento do recurso solar, e dados e avaliação do desempenho energético. Para a situação em estudo obteve-se os seguintes resultados sumários apresentados na figura 5.5.

Sumário			
Instalação em Valadares			
(Vila Nova de Gaia)			
869,4 m ² de módulos LONGi			
montagem fixa			
com inclinação 35° e orientação 0°.			
Potência: 181,9 kW (nominal)			
	energia solar incidente:	1 556 922 kWh/ano	
	produção fotovoltaica potencial (DC):	303 723 kWh/ano	
	perdas de sistema (DC):	-8 161 kWh/ano	
	perdas e consumos parasíticos (AC):	-10 300 kWh/ano	
	produção (AC):	276 394 kWh/ano	
	autoconsumo (AC):	138 138 kWh/ano	
			<u>Índices de desempenho</u>
			produtividade técnica: 1520 kWh/kW instalado
			aproveitado: 759 kWh/kW instalado
			rendimento relativo: 82% (performance ratio)
			i.e. 17% da energia incidente
			necessidades cobertas: 34%

Figura 5.5 - Resultados sumários da simulação em SCE.ER.

As necessidades anuais da globalidade da olaria 2 correspondiam a aproximadamente a um valor médio de 401 710 kWh, como está na figura 5.4, e a produção de energia fotovoltaica é cerca de 276 394 kWh. Comparando estes dois valores conclui-se que a produção é inferior às necessidades. No entanto, este valor de produção diz respeito a horas em que existe radiação pois o sistema fotovoltaico não tem baterias incorporadas e por isso não armazena energia que é produzida e não é consumida. Uma vez que, as olarias funcionam maioritariamente em horas noturnas, a energia produzida não seria aplicada nestas horas, apenas nas poucas horas em que elas trabalham durante o dia. É por este facto que é importante colocar as necessidades a cada hora do dia antes de realizar a simulação.

Assim, nestas condições, o programa oferece a percentagem de necessidades que seriam satisfeitas segundo todos os parâmetros inseridos. No canto inferior direito da figura 5.4 podemos ler esta informação. Apenas 34 % (138 138 kWh) das necessidades da olaria 2 seriam suprimidas utilizando 400 painéis fotovoltaicos. Isto quer dizer que 66 % da energia elétrica iria ter de ser adquirida da rede.

De acordo com o custo total de energia elétrica, calculado no sub capítulo 5.2, que correspondia a 22 315 € por ano, esta medida permitiria obter uma poupança anual de 7 587 €. Este valor apesar de ser significativo não seria rentável uma vez que corresponde à poupança máxima possível e teriam de se usar 400 painéis, cerca de 93 % da instalação existente. Para além disto, direccionando os painéis para uso exclusivo dos geradores, a maior parte da energia elétrica que estes produziram iria ser reecaminhada para a rede, pois as olarias não estão em funcionamento durante todo o dia.

6. Conclusões e propostas de trabalhos futuros

Esta dissertação teve como objetivo contabilizar, caracterizar e avaliar as diferentes utilidades energéticas consumidas numa olaria da empresa ARCH, SA. O principal intuito desta avaliação foi a otimização das utilidades utilizadas e a redução dos consumos energéticos das mesmas e dos custos que lhes estão associados.

Inicialmente, realizou-se um levantamento energético à olaria 2 de forma a compreender os consumos de energia que nela ocorrem. Verificando-se que em energia elétrica são gastos 341 € por mês e em gás natural cerca de 4 019 € mensalmente, sendo nesta segunda onde ocorrem os maiores gastos. Foram ainda calculados os custos específicos de forma a compreender o custo associado à produção de uma peça, sendo que corresponde a 1,18 €/peça.

Posteriormente, de forma a completar o levantamento, foram contabilizadas as perdas térmicas que ocorrem na olaria 2.1 e na olaria 2.2. Na totalidade da olaria 2.1 as perdas térmicas forma cerca de 9 639 W, divididas pelas diversas fronteiras. Na olaria 2.2 as perdas térmicas totais rondam os 9 120 W. Em ambas as olarias foram encontradas fronteiras por onde se perde mais calor e foram propostas medidas de otimização através da melhoria de isolamento para onde isto se verifica. Estas fronteiras correspondem àquelas que estão orientadas para o exterior. No caso da olaria 2.1 pensou-se em completar o isolamento da parede Norte e colocar isolamento no teto, e na olaria 2.2 melhorar o isolamento já existente no teto.

No caso das melhorias aplicadas na olaria 2.1, estas provocariam uma redução das perdas no valor de 18 %, tendo um custo de investimento associado de 8 423 €. Já no caso da olaria 2.2, a redução obtida seria cerca de 18 % tendo um investimento necessário de 7 763 €.

Estas melhorias, têm consequências nos consumos de gás natural dos geradores. Na olaria 2.1 o consumo de gás natural iria reduzir cerca de 16 % e na olaria 2.2 cerca de 15 %. Estas diminuições no consumo de gás natural provocam uma poupança anual de cerca 6 878 € ao fim de um ano. Assim, conclui-se que o investimento inicial para as melhorias de isolamento iria retornar ao fim de 2 anos e 5 meses.

De seguida, estudou-se o caso de na situação de melhoria transitarmos de gás natural para energia elétrica para o aquecimento das olarias. Esta transição mostrou-se satisfatória uma vez que na totalidade da olaria 2 seriam poupados anualmente 18 161 €.

Conhecendo a hipótese de utilização de energia elétrica para aquecimento das olarias pensou-se na incorporação de energia fotovoltaica uma vez que já existem um sistema fotovoltaico instalado na empresa.

Para isto recorreu-se ao programa SCE.ER, disponibilizado pela DGEG, onde se concluiu que os painéis instalados produzem mais energia elétrica do que aquela que seria necessária para suprimir as necessidades na olaria 2. No entanto, uma vez que não existem baterias associadas aos painéis a energia é apenas produzida durante as horas em que há radiação e os geradores funcionam sobretudo em horas noturnas. Assim, maior parte da energia que era produzida iria ser injetada para a rede e não usada pelos geradores.

No caso de utilizar 400 painéis fotovoltaicos estes apenas iriam cobrir 34 % das necessidades das olarias, o que representa uma poupança anual de 7 587 €. Não se apresenta como uma proposta exequível pois seria preciso 93 % da instalação fotovoltaica da empresa para apenas diminuir 34 %.

Assim conclui-se que seria completamente possível realizar o aquecimento das olarias independentemente do gás natural, não considerando a situação de arranque dos geradores. No entanto, relativamente à aplicação de energias renováveis, esta medida não se apresenta satisfatória uma vez que os geradores funcionam em horários noturnos e os painéis não têm incorporados baterias.

Como forma de complementar este estudo sugere-se que em trabalhos futuros sejam analisados economicamente os custos associados à aplicação de resistências elétricas nos geradores de forma a analisar se seria economicamente viável a transição de gás natural para energia elétrica. Sugere-se ainda que esta análise de incorporação de energia fotovoltaica seja realizada não só para aplicação nos geradores mas na globalidade da olaria 2 e da empresa de forma a compreender e otimizar o consumo energético através da rede. Por fim, o estudo sobre a possibilidade de instalação de baterias no sistema fotovoltaico seria algo que poderia trazer vantagens à empresa uma vez que a energia produzida pelos painéis poderia ficar armazenada e usada quando fosse preciso.

Bibliografia

- [1] ARCH, [Online]. Available: <https://arch.pt/>. [Acedido em 15 Fevereiro 2023].
- [2] “A nossa história,” Arch Valadares, [Online]. Available: <https://archvaladares.com/historia/>. [Acedido em 24 Outubro 2022].
- [3] “Inovação,” Arch Valadares, [Online]. Available: <https://archvaladares.com/inovacao/>. [Acedido em 27 Outubro 2022].
- [4] “Eficiência Energética na Indústria,” Adene, [Online]. Available: <https://www.adene.pt/industria/>. [Acedido em 14 Novembro 2022].
- [5] PORDATA, “Consumo de energia final: total e por tipo de setor consumidor,” 2020.
- [6] M. Ciucci, “Eficiência energética,” 2021. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/69/eficiencia-energetica>.
- [7] Direção Geral de Energia e Geologia, “Energia em Números,” 2021.
- [8] DGEG, “Energia em Números”. *Edição 2022*.
- [9] DGEG, “Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE),” [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/auditorias-energeticas/sistema-de-gestao-dos-consumos-intensivos-de-energia-sgcie/>. [Acedido em 22 Abril 2023].
- [10] Medidas de Eficiência Energética em Sistemas Industriais, “Cerâmica,” [Online]. Available: <https://www.meesi.pt/medidas-setor/ceramica/consumo-de-energia>. [Acedido em 20 Janeiro 2023].
- [11] APEG, “Preços de Gás Natural,” [Online]. Available: <https://www.apeg.pt/setor/estatisticas/preco-gas-natural/>. [Acedido em 29 Janeiro 2023].

- [12] EDP, “Como funciona um painel solar fotovoltaico?,” [Online]. Available: <https://www.edp.pt/particulares/content-hub/como-funciona-um-painel-fotovoltaico/>. [Acedido em 11 Junho 2023].
- [13] M. Â. Silveiro Valente, “Caracterização Automática de um Painel Fotovoltaico,” 2011.
- [14] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman e A. S. Lavine, Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, LTC.
- [15] J. Geankoplis, Transport Processes and Unit Operations.
- [16] Instituto Português do Mar e da Atmosfera, [Online]. Available: <https://www.ipma.pt/pt/index.html>. [Acedido em 19 Março 2023].
- [17] Direção Geral de Energia e Geologia, “Guia de Utilização do software SCE.ER,” 2020.

Anexos

Anexo A – Dados do levantamento energético à empresa e à olaria 2

A.1 Levantamento energético à empresa

De forma a conhecer os gastos energéticos da empresa foi realizado um levantamento às energéticos. Na tabela A.1 estão presentes os dados correspondentes aos consumos de gás natural no último ano. Na tabela A.2 estão apresentados os dados relativos ao consumo de energia elétrica proveniente da rede, e na tabela A.3 estão os dados relacionados com a produção de energia fotovoltaica a partir da instalação já existente na empresa.

Para converter o volume de gás natural em kWh é necessário conhecer o valor do PCS:

$$\text{PCS} = 9\,500 \text{ kcal/m}^3 = \frac{9\,500 * 4,18}{3600} = 11,03 \text{ kWh/m}^3$$

Apesar de ser este o valor usado nos diferentes cálculos, e tendo em conta a sua variação mensal, os valores da tabela A.1 foram fornecidos pela empresa.

Tabela A.1 - Consumos de gás natural na empresa em 2022.

Gás Natural 2022		
Mês	m3	kWh
Janeiro	69 322	812 933
Fevereiro	81 992	967 221
Março	49 800	585 295
Abril	48 657	570 547
Maio	70 005	810 683
Junho	43 835	512 505
Julho	50 583	600 875
Agosto	20 183	235 208
Setembro	47 425	556 071
Outubro	43 979	525 080
Novembro	71 755	836 391
Dezembro	46 743	547 754
TOTAL	644 279	7 560 563

Tabela A.2 - Consumo de energia elétrica na empresa em 2022.

Eletricidade 2022	
Mês	kWh
Janeiro	113 398
Fevereiro	112 330
Março	103 479
Abril	87 317
Maio	75 413
Junho	61 006
Julho	75 242
Agosto	44 116
Setembro	91 589
Outubro	104 502
Novembro	128 932
Dezembro	106 860
TOTAL	1 104 184

Tabela A.3 - Energia fotovoltaica produzida na empresa em 2022.

Energia Elétrica produzida 2022	
Mês	kWh
Janeiro	0
Fevereiro	0
Março	0
Abril	1 221
Maio	29 657
Junho	27 619
Julho	34 840
Agosto	27 750
Setembro	22 810
Outubro	14 980
Novembro	8 750
Dezembro	5 770
TOTAL	173 397

Para avaliar qual das utilidades é mais consumida, anualmente, na empresa utilizaram-se os dados em kWh de consumo de gás natural e de consumo de energia elétrica.

Consumo _{gás natural} = 7 560 563 kWh/ano

Consumo _{energia elétrica} = 1 104 184 + 173 397 = 1 277 581 kWh/ano

$\text{Consumo}_{\text{total}} = 8\,838\,144 \text{ kWh/ano}$

Para calcular a percentagem de utilização de cada utilidade foi utilizada a equação A.1.

$$\% \text{ energia} = \frac{\text{Consumo}_{\text{utilidade}}}{\text{Consumo}_{\text{total}}} * 100 \quad (\text{A.1})$$

Assim, obtém-se as seguintes percentagens:

$\% \text{ gás natural} = 86 \%$

$\% \text{ energia elétrica} = 14 \%$

Para além dos consumos também é preciso analisar os custos que estes consumos implicam ao longo do ano. Na tabela A.4 estão presentes os valores dos custos ao longo dos diferentes meses do ano correspondente.

Os valores apresentados na tabela A.4 foram fornecidos pela empresa e dizem respeito às taxas energéticas em vigor no ano de 2022.

Tabela A.4 - Valores dos custos de gás natural e energia elétrica ao longo do ano de 2022.

Mês	Gás Natural	Energia Elétrica EDP
Janeiro	19 123,00 €	7 487,00 €
Fevereiro	22 057,00 €	7 063,00 €
Março	81 962,00 €	6 619,00 €
Abril	64 127,00 €	6 398,00 €
Maio	79 822,00 €	5 309,00 €
Junho	58 104,00 €	4 346,00 €
Julho	70 410,00 €	3 878,00 €
Agosto	58 783,00 €	2 311,00 €
Setembro	73 336,00 €	4 794,00 €
Outubro	38 448,00 €	5 416,00 €
Novembro	57 773,00 €	6 194,00 €
Dezembro	61 449,00 €	4 987,00 €
Total	685 394,00 €	64 802,00 €

A.2 Levantamento energético à olaria 2

Conhecendo os consumos e custos das utilidades na globalidade da empresa é agora importante fazer o mesmo estudo para a secção em estudo, a olaria 2.

Custos unitarios considerados para efeito de calculo:

$\text{Custo unitário}_{\text{gás natural}} = 0,11 \text{ €/kWh}$

Custo unitário energia elétrica = 0,051 €/kWh

Gás Natural

Consumo gás natural 2.1 = 222,3 m³/semana (condições de arranque + manutenção)

Consumo gás natural 2.2 = 605,8 m³/semana (condições de arranque + manutenção)

Consumo total olaria 2 = 828,1 m³/semana

O valor do consumo de gás natural previsto por ano, tendo em consideração 48 semanas, será de 39 749 m³/ano.

Usando o valor do PCS:

PCS = 11,03 kWh/m³

Consumo gás natural olaria 2 = 438 429 kWh/ano

Consumo gás natural empresa = 7 560 563 kWh/ano

% Gás Natural olaria 2 = $\frac{\text{Consumo de Gás Natural olaria 2}}{\text{Consumo total}} * 100 = 5,8 \%$

Custo gás natural empresa = 831 662 €/ano

Custo gás natural olaria 2 = 48 227 €/ano = 4 019 €/mês

Energia Elétrica

Consumo energia elétrica olaria 2 = 80 250 kWh/ano = 6 688 kWh/mês

Consumo energia elétrica empresa = 1 104 184 kWh/ano

% Energia Elétrica olaria 2 = $\frac{\text{Consumo de Energia Elétrica olaria 2}}{\text{Consumo total}} * 100 = 7,3 \%$

Relativamente aos custos tem-se:

Custo energia elétrica olaria 2 = 4 093 €/ano = 341 €/mês

Custo energia elétrica empresa = 1 104 184 * 0,051 = 56 313 €/ano

Relação entre consumo de gás natural e energia elétrica na olaria 2

Consumo gás natural olaria 2 = 438 429 kWh/ano

Consumo energia elétrica olaria 2 = 80 250 kWh/ano

$$\% \text{ Energia Elétrica }_{\text{olaria 2}} = \frac{\text{Consumo de Energia Elétrica olaria 2}}{\text{Consumo total na olaria 2}} * 100 = 16 \%$$

Anexo B – Exemplos de Cálculo

B.1 Cálculos dos consumos e custos específicos

De forma a ser possível analisar quanto se gasta de gás natural e energia elétrica para produzir cada peça na olaria 2 foram calculados os consumos e custos específicos. Neste capítulo estão presentes todos os cálculos necessários para a obtenção destes valores.

Para estes cálculos foi considerado que se produzem por mês 3 600 peças na olaria 2.

- **Gás Natural**

O consumo mensal de gás natural foi fornecido pela empresa e o custo mensal que lhe está associado foi calculado sabendo o seu custo unitário em €/kWh, pela equação B.1.

Consumo mensal Gás Natural = 35 641,4 kWh

$$\text{Custo mensal Gás Natural} = \text{Consumo mensal} * \text{Custo unitário} \quad (\text{B.1})$$

$$\text{Custo mensal Gás Natural} = 35\,641,4 * 0,11 = 3\,920,6 \text{ €}$$

Com estes dados é então possível calcular os consumos e custos específicos, utilizando as seguintes equações, B.2 e B.3.

$$\text{Consumo específico} = \frac{\text{Consumo mensal Gás Natural}}{\text{Peças produzidas por mês}} \quad (\text{B.2})$$

$$\text{Consumo específico} = \frac{35\,641,4}{3600} = 9,90 \text{ kWh/peça}$$

$$\text{Custo específico} = \frac{\text{Custo mensal Gás Natural}}{\text{Peças produzidas por mês}} \quad (\text{B.3})$$

$$\text{Custo específico} = \frac{3\,920,6}{3600} = 1,09 \text{ €/peça}$$

- **Energia Elétrica**

O consumo mensal de energia elétrica foi consultado nas faturas elétricas da empresa e o custo mensal que lhe está associado foi calculado sabendo o custo unitário, €/kWh.

Consumo mensal Energia Elétrica = 6 687,5 kWh

Os cálculos para o custo mensal de energia elétrica, consumo específico e custo específico foram realizados através das equações utilizadas para os cálculos dos mesmos parâmetros no gás natural. Assim, foram utilizadas as equações B.1, B.2 e B.3 para a realização destes cálculos, tendo-se obtido os seguintes resultados.

Custo unitário = 0,051 €/kWh, sendo este um valor médio ao longo do período em estudo.

Custo mensal Energia Elétrica = 341,1 €

Consumo específico = 1,86 kWh/peça

Custo específico = 0,095 €/peça

Para calcular o custo específico total associado a cada peça na etapa da conformação, foi utilizada a equação B.4.

$$\text{Custo específico total} = \text{Custo específico GN} + \text{Custo específico EE} \quad (\text{B.4})$$

$$\text{Custo específico total} = 1,09 + 0,095 = 1,18 \text{ €/peça}$$

B.2 Cálculos das Perdas de Calor

De forma a que o levantamento energético à olaria 2 esteja mais completo foi necessário calcular as perdas de calor que existem pelas diversas fronteiras da área em estudo. Assim, neste capítulo irá ser apresentado um exemplo de cálculo para a obtenção deste valor. Os dados das paredes e tetos utilizados para os cálculos de todas as fronteiras nas duas olarias estão presentes na tabela B.1.

Tabela B.1 - Dados das paredes e tetos utilizados para o cálculo das perdas de calor na olaria 2.

			A (m ²)	Δx (m)	k (W/m.K)
2.1	Parede Norte	Vidro	36,6	0,24	0,72
		Reboco	101,3	0,04	1,3
		Pedra	95,4	0,4	2,5
		Reboco na parede de pedra	95,4	0,02	1,3
		Tijolo	101,3	0,2	0,6
		Esferovite	196,7	0,05	0,044
		Betão	70,7	0,24	0,23
		Total	304,0		
	Parede Este	Ferro	67,1	0,05	80,2
	Parede Oeste	Tijolo	57,1	0,15	0,6
		Reboco	57,1	0,04	1,3
		Ferro	4,4	0,05	80,2
		Total	61,5		
	Teto	Lã de rocha	1053,9	0,05	0,02
2.2	Parede Oeste	Ferro	64,5	0,05	80,2
	Parede Este	Reboco	63,6	0,04	1,3
		Tijolo	63,6	0,2	0,6
		Ferro	3,1	0,05	80,2
		Esferovite	63,6	0,05	0,044
		Total	66,7		
	Parede Sul	Tijolo	304,1	0,2	0,6
		Reboco	304,1	0,04	1,3
		Ferro	1,6	0,04	80,2
		Esferovite	304,1	0,05	0,044
		Total	305,7		
	Teto	Lã de rocha	1036,5	0,05	0,02
		Esferovite	1036,5	0,05	0,044

Na tabela B.2 estão apresentadas as temperaturas das olarias em estudo assim como as dos espaços que as envolvem.

Tabela B.2 - Valores das várias temperaturas das olarias em estudo e áreas envolventes.

Olaria 2.1	T _{interior} = 27 °C	Olaria 2.2	T _{interior} = 29 °C
Lado Oeste	T = 23 °C	Lado Oeste	T = 21 °C
Lado Este	T = 23 °C	Lado Este	T = 24 °C
Espaço exterior	T = 10 °C	Lado Sul	T = 21 °C
		Espaço exterior	T = 10 °C

O exemplo de cálculo e os valores que vão ser apresentados dizem respeito à parede Norte da olaria 2.1, sendo que foram utilizados de forma semelhante nas restantes fronteiras tanto da olaria 2.1 como na olaria 2.2.

Dados:

$$L = 4,3 \text{ m}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$P = 1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$$

Inicialmente, é necessário conhecer a parede e a sua constituição. Assim, na figura B.1 está apresentada a constituição da parede Norte da olaria 2.1.

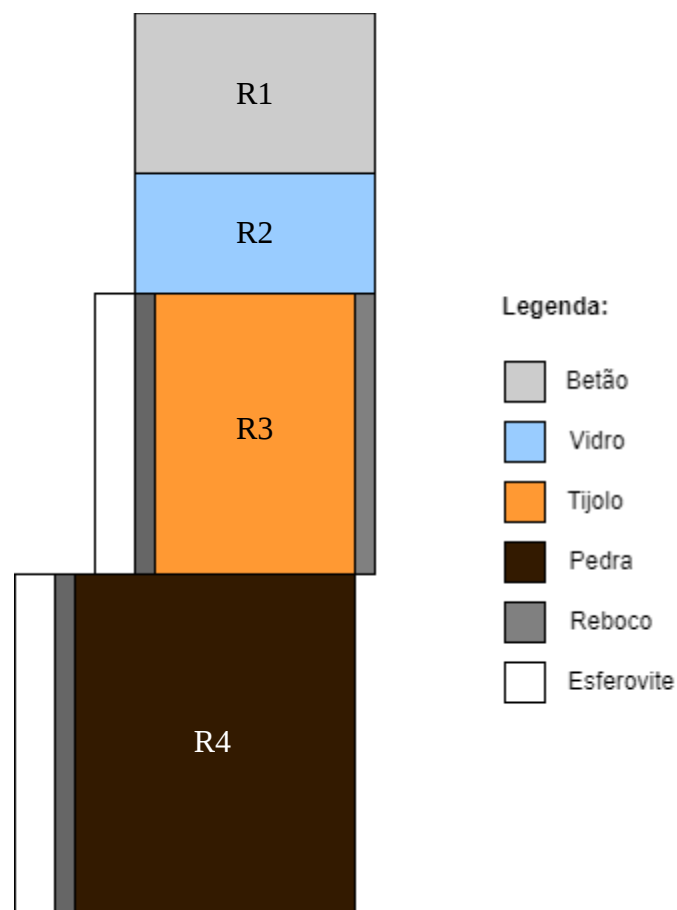


Figura B.1 - Representação da constituição da parede norte da olaria 2.1 e dos diferentes materiais que a formam.

Na figura B.1 cada cor representa um material diferente, estando presente na legenda a correspondência entre a cor e o material que constitui a parede.

Nesta parede os materiais estão dispostos tanto em série como em paralelo, pelo que é importante fazer o circuito elétrico correspondente de forma a compreender melhor como o calor é transferido do interior da olaria até ao exterior. Na figura B.2 está apresentado o circuito elétrico desta parede. Para a sua realização, dividiu-se a parede em 4 zonas, zona 1 formada por betão, zona 2 formada por vidro, zona 3 formada por esferovite, reboco e tijolo e zona 4 formada por esferovite, reboco e pedra.

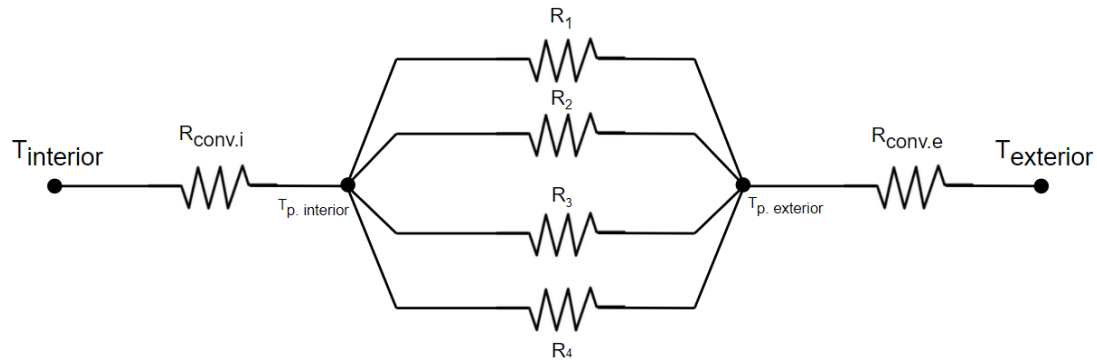


Figura B.2 - Circuito elétrico correspondente à parede Norte da olaria 2.1.

Para calcular resistência à condução de cada zona da parede foi utilizada a equação B.5.

$$R_{cond} = \frac{\Delta x}{A * k} \quad (B.5)$$

Para a zona 1, por exemplo:

$$R_{cond} = \frac{0,24}{70,7 * 0,23} = 0,0148 \text{ K/W}$$

Na tabela B.3 estão apresentados os valores das resistências de cada zona da parede.

Tabela B.3 - Valores das resistências das diferentes zonas da parede Norte da olaria 2.1.

R1	0,0148	K/W
R2	0,00911	K/W
R3	0,0148	K/W
R4	0,0137	K/W

Como os materiais estão em paralelo é necessário calcular a resistência equivalente, para isso é utilizada a equação B.6.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \quad (B.6)$$

$$R_{eq} = 0,00315 \text{ K/W}$$

Na tabela B.4 estão presentes os valores da resistência à condução e da resistência equivalente para todas as paredes, dependendo do caso.

Tabela B.4 - Valores da resistência à condução e resistência equivalente para cada fronteira.

Olaria 2.1			Olaria 2.2		
Oeste	R _{eq}	0,00014 K/W	Oeste	R _{cond}	9,7 * 10 ⁻⁶ K/W
Este	R _{cond}	9,3 * 10 ⁻⁶ K/W	Este	R _{eq}	0,00020 K/W
Norte	R _{eq}	0,00315 K/W	Sul	R _{eq}	0,00029 K/W
Teto	R _{cond}	0,0024 K/W	Teto	R _{cond}	0,0035 K/W

Foi necessário de seguida calcular as propriedades físicas do ar, de forma a ser possível calcular os coeficientes de convecção tanto interior como exterior. Uma vez que as propriedades do ar, nesta gama de temperatura, variam pouco, optou-se por considerar as propriedades constantes e avaliadas à temperatura média da olaria e do espaço exterior, equação B.6. A tabela utilizada para as propriedades do ar está apresentada na figura B.3 [15].

T (°C)	T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \times 10^5$ (Pa·s, or kg/m·s)	k (W/m·K)	N_{Pr}	$\beta \times 10^3$ (1/K)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/K·m ³)
-17.8	255.4	1.379	1.0048	1.62	0.02250	0.720	3.92	2.79×10^8
0	273.2	1.293	1.0048	1.72	0.02423	0.715	3.65	2.04×10^8
10.0	283.2	1.246	1.0048	1.78	0.02492	0.713	3.53	1.72×10^8
37.8	311.0	1.137	1.0048	1.90	0.02700	0.705	3.22	1.12×10^8
65.6	338.8	1.043	1.0090	2.03	0.02925	0.702	2.95	0.775×10^8
93.3	366.5	0.964	1.0090	2.15	0.03115	0.694	2.74	0.534×10^8
121.1	394.3	0.895	1.0132	2.27	0.03323	0.692	2.54	0.386×10^8
148.9	422.1	0.838	1.0174	2.37	0.03531	0.689	2.38	0.289×10^8
176.7	449.9	0.785	1.0216	2.50	0.03721	0.687	2.21	0.214×10^8
204.4	477.6	0.740	1.0258	2.60	0.03894	0.686	2.09	0.168×10^8
232.2	505.4	0.700	1.0300	2.71	0.04084	0.684	1.98	0.130×10^8
260.0	533.2	0.662	1.0341	2.80	0.04258	0.680	1.87	0.104×10^8

Figura B.3 - Propriedades físicas do ar a diferentes temperaturas.

$$T_{\text{média}} = \frac{T_{\text{interior olaria}} + T_{\text{exterior}}}{2} \quad (\text{B.7})$$

$$T_{\text{média}} = 291,65 \text{ K}$$

Com estes valores foi possível calcular as propriedades físicas do ar a esta temperatura média, através da realização de interpolações.

$$c_p = 1\,004,8 \text{ J/kg.K}$$

$$\mu = 1,82 \cdot 10^{-5} \text{ Pa.s}$$

$$\rho = 1,213 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 0,0256 \text{ W/(m.K)}$$

$$\beta = 0,00343 \text{ K}^{-1}$$

$$\mu_{\text{cinemática}} = 0,000015 \text{ m}^2/\text{s}$$

Calculando o valor de $Gr_L * Pr$, através da equação 4.2 obtém-se o seguinte resultado:

$$Gr_L * Pr = \frac{9,8 * 0,00343 * (300,15 - T_{pi}) * 4,3^3}{0,000015^2} * \frac{1004,8 * 1,82 * 10^{-5}}{0,0256}$$

De acordo com o valor de T_{pi} assim será calculado o valor de $Gr_L * Pr$.

Se for verificado que

$Gr_L * Pr > 10^9$ então a equação que seria utilizada para calcular o coeficiente de convecção das paredes verticais está apresentada na equação B.8.

$$h_{conv} = 1,24 * \Delta T^{\frac{1}{3}} \quad (B.8)$$

Na utilização destas correlações obtiveram-se incoerências nos valores da temperatura da parede interior. Estas podem dever-se aos erros já associados às correlações empíricas e ao facto de a gama de trabalho de temperaturas ser muito pequena o que leva a grandes erros. Por esta razão foram feitas várias medidas de temperatura em várias zonas da parede interior Norte. Obteve-se uma temperatura média desta parede de:

$$T_{\text{parede interior Norte}} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Gr_L * Pr = 4,23 * 10^{10}$$

Então, usando a equação B.8 é então possível calcular o $h_{\text{conv. int.}}$, sendo que $\Delta T = (T_{\text{interior da olaria}} - T_{\text{parede interior}})$, então:

$$h_{\text{conv int}} = 1,24 * (27 - 22)^{\frac{1}{3}} = 2,1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Com o coeficiente de transferência de calor por convecção interno é possível calcular o calor perdido pela parede Norte, utilizando a equação B.9.

$$Q = h * A * (T_{\text{interior}} - T_{\text{parede interior}}) \quad (B.9)$$

$$Q = 2,1 * 304 * (27 - 22) = 3192 \text{ W}$$

Sabendo que o calor que é transferido por convecção interior desde o centro da olaria até à superfície interior da parede é igual ao calor que é transferido pela parede, pode-se calcular a temperatura da superfície exterior da parede em causa, utilizando a equação B.10.

$$Q = \frac{T_{parede\ interior} - T_{parede\ exterior}}{R_{cond}} \quad (B.10)$$

No caso desta parede em concreto a resistência à condução é a resistência equivalente calculada pela equação B.6.

$$3192 = \frac{22 - T_{parede\ exterior}}{0,00315} \leftrightarrow T_{parede\ exterior} = 12\ ^\circ C$$

Com esta temperatura conhecida era possível calcular agora o coeficiente de convecção exterior. No entanto, de forma a contabilizar as perdas de calor que ocorrem por radiação, é calculado o coeficiente de transferência de calor combinado. Este é calculado tendo em conta que ocorre convecção exterior e radiação, como se pode ver na equação B.11.

$$h_{comb} = h_{conv.\ ext} + h_{radiação} \quad (B.11)$$

Utilizando a equação B.12 calcula-se este coeficiente.

$$Q = h_{comb} * A * (T_{parede\ exterior} - T_{exterior}) \quad (B.12)$$

$$3192 = h_{comb} * 304 * (12 - 10) \leftrightarrow h_{comb} = 5,3\ W/m^2.K$$

Assim, uma vez que a temperatura da parede interior desta fronteira foi realmente medida, os coeficientes de convecção interior e coeficiente de convecção combinado obtidos para a Parede Norte vão ser utilizados para todas as restantes paredes, tanto da olaria 2.1 como da 2.2. Desta aproximação não adevém grandes incorreções uma vez que as propriedades do ar não variam muito na pequena gama de temperatura em que se trabalha, e ainda, devido a erros de cerca de 30 % associado às correlações usadas para calcular estes coeficientes. Posto isto, estes valores foram então fixados para todas as paredes e utilizou-se a equação B.13 para calcular as perdas para todas as restantes paredes.

$$Q = \frac{T_{interior} - T_{exterior}}{\sum R} \quad (B.13)$$

Com $\sum R = R_{conv.\ int} + R_{cond} + R_{comb}$:

$$\sum R = \frac{1}{2,1 \cdot 304} + 0,00315 + \frac{1}{5,3 \cdot 304} = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

E como seria de esperar,

$$Q_{\text{Norte}} = 3\,196 \text{ W}$$

Na tabela B.5 estão apresentados os valores das perdas de todas as fronteiras da olaria 2.1 e 2.2.

Para o caso do teto, e tratando-se de uma superfície horizontal aquecida era preciso recalcular o valor de $Gr_L \cdot Pr$ e escolher de acordo com a tabela 4.1 a correlação adequada. O valor do coeficiente de convecção determinado foi praticamente o mesmo do obtido para as paredes verticais pelo que se considerou também $h_{\text{conv. int}} = 2,1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

Tabela B.5 - Perdas para as diversas fronteiras das duas olarias em estudo.

Olaria 2.1 – Perdas (W)		Olaria 2.2 – Perdas (W)	
Q oeste	368	Q oeste	781
Q este	406	Q este	495
Q norte	3 196	Q sul	3 261
Q teto	5 669	Q teto	4 583
Q	9 639	Q	9 120

B.3 Cálculo das perdas de calor otimizadas e investimento necessário

Depois de todos os cálculos realizados concluiu-se que a maior parte das perdas ocorre nas fronteiras com o exterior, assim foram pensadas medidas de forma a reduzi-las.

Neste anexo está presente um exemplo de cálculo para a redução das perdas correspondentes à parede Norte da olaria 2.1.

Para a parede Norte foi tomada a medida de isolar os 35% da parede que não se encontravam isolados. Assim, teve de ser novamente calculada a resistência equivalente da parede, tendo-se obtido o seguinte resultado:

$$R_{eq} = 0,00354 \text{ K/W}$$

Recorrendo novamente à equação B.10 é possível calcular o calor perdido na nova situação.

$$Q = \frac{27 - 10}{\frac{1}{2,1 * 304} + 0,00354 + \frac{1}{5,3 * 304}} = 2976 \text{ W}$$

Na tabela B.6 estão apresentados os valores das perdas da olaria 2.1 e 2.2 com as medidas de melhoria já aplicadas.

Tabela B.6 - Perdas para as diversas fronteiras das duas olarias em estudo depois de aplicadas as medidas de melhoria.

Olaria 2.1 – Perdas (W)		Olaria 2.2 – Perdas (W)	
Q oeste	368	Q oeste	781
Q este	406	Q este	495
Q norte	2 976	Q sul	3 261
Q teto	4 170	Q teto	2 898
Q	7 920	Q	7 434

Investimentos na olaria 2.1:

Placas de esferovite com 5 cm de espessura = 7,49 €/m²

Área a isolar na parede Norte = 70,7 m²

Investimento na parede Norte = 7,49 * 70,7 = 529,5 €

Área a isolar no teto = 1 053,9 m²

Investimento no teto = 7 893,7 €

Investimentos na olaria 2.2:

Placas de esferovite com 10 cm de espessura = 10,49 €/m²

Área a isolar no teto = 1 036,5 m²

Investimento no teto = 7,49 * 1 036,5 = 7 763,4 €

ou Investimento no teto = 10,49 * 1 036,5 = 10 872,9 €

Neste caso optou-se por isolar com uma dupla camada de 5 cm.

Investimento total

Investimento total = 529,5 + 7 893,7 + 7 763,4 = 16 187 €

B.4 Cálculo da diminuição do consumo de gás natural

A diminuição do valor das perdas vai-se refletir na temperatura a que o ar quente tem de ser insuflado na olaria e consequentemente no consumo de gás natural dos geradores de cada olaria.

Neste anexo vai ser apresentado um exemplo de cálculo para esta situação, no que diz respeito à olaria 2.1.

Sabendo que, em estado estacionário, a energia cedida pelo ar quente é igual às perdas de calor da olaria, obtemos as equações B.14 e B.15.

$$Q_{perdas} = \Delta H_{ar quente} \quad (B.14)$$

$$Q_{perdas} = \dot{m}_{ar quente} * cp * (T_{ar quente} - T_{olaria}) \quad (B.15)$$

Aplicando esta última equação às duas situações, atual e com isolamento, é possível encontrar uma relação entre as perdas e a temperatura do ar quente que entra na olaria. Esta relação está apresentada na equação B.16.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\dot{m}_{ar quente} * cp * (T_{ar quente 1} - T_{olaria})}{\dot{m}_{ar quente} * cp * (T_{ar quente 2} - T_{olaria})} \quad (B.16)$$

Sendo a **situação 1 relativa à situação atual da empresa** e a **situação 2 relativa à situação com melhorias no isolamento**. Considerando que o caudal de ar quente não é alterado, este irá apenas entrar a uma temperatura diferente, e que o poder calorífico

também é o mesmo, obtemos a equação simplificada B.17. Na empresa atualmente o ar quente entra, tanto na olaria 2.1 como na 2.2, a uma temperatura de 60 °C.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{(T_{ar\ quente\ 1} - T_{olaria})}{(T_{ar\ quente\ 2} - T_{olaria})} \quad (B.17)$$

$$\frac{9\ 639}{7\ 920} = \frac{(333,15 - 300,15)}{(T_{ar\ quente\ 2} - 300,15)}$$

Assim,

$$T_{ar\ quente\ 2} = 327\ K = 54\ ^\circ C$$

Na tabela B.7 estão apresentadas as temperaturas a que o ar quente entraria nas olarias na situação de melhoria e a redução que lhe está associada.

Tabela B.7 - Temperatura a que o ar quente entraria na nova situação e respetiva redução.

Olaria 2.1			Olaria 2.2		
T ar quente	327 K	54 °C	T ar quente	327 K	54 °C

Redução	10 %	Redução	10 %
---------	------	---------	------

Esta redução da temperatura do ar quente tem influência no consumo de gás natural nos geradores. Para materializar esta influência foi necessário realizar um balanço ao gerador, apresentado nas equações B.18 a B.21.

$$q_{perdas} = \sum H_{saída} + PCS * V_{GN} - \sum H_{entrada} \quad (B.18)$$

$$q_{perdas} = (H_4 + H_5) + PCS * V_{GN} - (H_1 + H_2 + H_3) \quad (B.19)$$

Com:

Corrente 1 – Gás Natural
 Corrente 2 – Ar de combustão
 Corrente 3 – Ar fresco
 Corrente 4 – Ar quente
 Corrente 5 – Gases de exaustão

Considerando a figura 5.1 e a temperatura de referência, $T_{\text{ref}} = T_1 = T_2$:

$$q_{\text{perdas}} = (H_4 + H_5) + PCS * V_{GN} - H_3 \quad (\text{B.20})$$

Como a corrente 4 e a corrente 3 dizem respeito à mesma corrente, então,

$$q_{\text{perdas}} = PCS * V_{GN} + \dot{m}_{\text{ar quente}} * cp * (T_4 - T_3) + m_5 * cp_5 * (T_5 - T_1) \quad (\text{B.21})$$

Sabendo que este valor de perdas é característico do equipamento, não se vai alterar consoante a diferença da temperatura do ar quente. Assim, é possível arranjar uma relação entre a temperatura a que o ar quente entra na olaria e o caudal volumétrico de gás natural consumido no gerador, equações B.22 e B.23.

$$q_{\text{perdas } 1} = q_{\text{perdas } 2} \quad (\text{B.22})$$

Considerando que a entalpia dos gases de combustão não se vai alterar significativamente, esta vai ser igual nas duas situações.

$$V_{GN\ 2} = V_{GN\ 1} + \frac{[\dot{m}_{\text{ar quente}} * cp * (T_{\text{ar quente } 1} - T_{\text{ar quente } 2})]}{PCS} \quad (\text{B.23})$$

Para estes cálculos foi necessário saber qual o caudal volumétrico de gás natural consumido no arranque uma vez que esse valor não entra na análise.

Sabendo, por medição, que:

$$V_{GN \text{ consumido na olaria } 2.1} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

É possível recorrendo à equação B.24 saber o número de horas que o gerador funciona numa semana.

$$\text{Horas funcionamento}_{\text{semana}} = \frac{\text{Consumo semanal}}{\text{Caudal horário}} \quad (\text{B.24})$$

$$\text{Horas funcionamento}_{\text{semana}} = \frac{222,3}{30} = 7,4 \text{ h/semana}$$

Sabendo este consumo diário é possível saber quanto se gasta de gás natural no arranque ao fim de uma semana, uma vez que se sabe que o arranque demora 3 minutos, que corresponde a 0,05 horas.

$$V_{GN \text{ arranque}} = 30 * 0,05 * 5 = 7,50 \text{ m}^3/\text{semana}$$

Assim,

$$V_{GN \text{ manutenção}} = 222,3 - 7,50 = 214,8 \text{ m}^3/\text{semana}$$

Estes mesmos cálculos foram realizados para a situação da olaria 2.2.

Para calcular o $V_{GN 2}$ é preciso ter em conta os seguintes valores:

$$PCS_{\text{gás natural}} = 9\,500 \text{ kcal/m}^3 = 39\,710 \text{ kJ/m}^3 = 11,03 \text{ kWh/m}^3$$

$$c_{p \text{ ar}} = 1,0048 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$\dot{v}_{\text{ar quente}} = 25\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_{\text{ar}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

Substituindo estes valores na equação B.23 é possível calcular a variação de caudal de gás natural.

$$V_{GN 2} = V_{GN 1} + \frac{\left[\frac{25\,000}{3600} * 1,2 * 1,0048 * (60 - 54) \right]}{-11,03}$$

$$\text{Sendo então } V_{GN 1} = 30 \text{ m}^3/\text{h},$$

$$V_{GN 2} = 30 - 4,6 = 25,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Energia consumida}_1 = 2\,369 \text{ kWh/semana}$$

$$\text{Energia consumida}_2 = 2\,033 \text{ kWh/semana}$$

Sabendo o custo médio unitário do gás natural, 0,11 €/kWh,

$$\text{Custo}_1 = 261 \text{ €/semana que corresponde a um custo anual de } 12\,510 \text{ €}$$

$$\text{Custo}_2 = 224 \text{ €/semana que corresponde a um custo anual de } 10\,733 \text{ €}$$

Subtraindo o custo que se teria na situação 1 e na situação 2, situação com melhorias, é possível calcular a poupança. Esta corresponde a cerca de 1 776 € anuais.

Na tabela B.8 e B.9 estão apresentados os valores associados a estes cálculos para a olaria 2.1 e 2.2, respetivamente. De salientar que todos os valores excluem consumos e tempos correspondentes à situação de arranque dos geradores.

Tabela B.8 - Valores associados aos cálculos de poupança de gás natural na olaria 2.1.

Olaria 2.1	
T_{olaria}	27 °C
$T_{\text{ar quente 1}}$	60 °C
$T_{\text{ar quente 2}}$	54 °C
Redução da temperatura	10 %
$V_{\text{GN 1}}$	215 m ³ /semana
$V_{\text{GN 2}}$	180 m ³ /semana
Redução no consumos de GN	16 %
Energia consumida 1	2 369 kWh/semana
Energia consumida 2	2 033 kWh/semana
Custo 1	12 510 €/ano
Custo 2	10 733 €/ano
Poupança	1 776 €/ano

Tabela B.9 - Valores associados aos cálculos de poupança de gás natural na olaria 2.2.

Olaria 2.2	
T_{olaria}	29 °C
$T_{\text{ar quente 1}}$	60 °C
$T_{\text{ar quente 2}}$	54 °C
Redução da temperatura	10 %
$V_{\text{GN 1}}$	598 m ³ /semana
$V_{\text{GN 2}}$	506 m ³ /semana
Redução no consumos de GN	15 %
Energia consumida 1	6 599 kWh/semana
Energia consumida 2	5 581 kWh/semana
Custo 1	34 844 €/ano
Custo 2	39 742 €/ano
Poupança	5 102 €/ano

B.5 Cálculo da transição de gás natural para energia elétrica

Para estudar a viabilidade de passar de gás natural para energia elétrica é necessário conhecer os horários de funcionamento dos vários geradores assim como os vários períodos horários e custos unitários associados. O gerador da olaria 2.1 funciona das 03:00 h até às 11:00 h, retirando o período de arranque o funcionamento em estudo irá consistir no intervalo das 03:03 h até às 11:00 h. Já o gerador da olaria 2.2 entra em funcionamento às 00:00 h e termina às 15:00 h, retirando o tempo de arranque o horário será das 00:03 h até às 15:00 h. Ambos os geradores funcionam apenas de segunda a sexta feira, ou seja, 5 dias por semana. Na tabela B.10 e B.11 estão presentes as divisões nos vários períodos horários e os custos unitários associados a cada período, respetivamente.

Tabela B.10 - Divisão do dia nos diferentes períodos horários.

Períodos			
Ponta	9:00 - 10:30	18:00 - 20:30	
Cheia	8:00 - 9:00	10:30 - 18:00	20:30 - 22:00
Vazio	00:00 - 2:00	6:00 - 8:00	22:00 - 00:00
Super vazio	2:00 - 6:00		

Tabela B.11 - Custos unitários correspondentes a cada período horário.

Custos unitário (€/kWh)	
Ponta	0,06941
Cheia	0,06753
Vazio	0,05567
Super vazio	0,05389

Os cálculos associados a esta transição são relativos à situação em que são aplicadas melhorias, numa visão de saber e estudar qual seria a poupança obtida no fim de toda a otimização.

Assim, os exemplos de cálculo seguintes dizem respeito à situação 2 da olaria 2.1.

Sabendo o horário de funcionamento e a divisão nos vários períodos horários é possível saber a percentagem de tempo que o gerador funciona em cada período. Na tabela B.12 estão presentes estas percentagens.

Tabela B.12 - Percentagens de tempo que o gerador da olaria 2.1 passa em cada período horário.

Tempo em ponta	9:00 - 10:30		=	1,5	h	19%
Tempo em cheia	8:00 - 9:00	10:30 - 11:00	=	1,5	h	19%
Tempo em vazio	6:00 - 8:00		=	2	h	25%
Tempo em super vazio	3:03 - 6:00		=	2,95	h	37%
			Total	7,95	h	100%

Sabendo a quantidade de energia que é consumida na situação em estudo pelo gerador, isto é, 2033 kWh/semana, é possível saber a energia consumida diariamente, 407 kWh.

Assim, através da equação B.24 calcula-se a energia que é consumida em cada período horário.

$$E_{\text{consumida em horário de ponta}} = \%_{\text{em ponta}} * \text{consumo diário} \quad (\text{B.24})$$

$$E_{\text{consumida em horário de ponta}} = 0,19 * 407 = 76,7 \text{ kWh/dia}$$

$$E_{\text{consumida em horário de cheia}} = 76,7 \text{ kWh/dia}$$

$$E_{\text{consumida em horário de vazio}} = 102,3 \text{ kWh/dia}$$

$$E_{\text{consumida em horário de super vazio}} = 150,9 \text{ kWh/dia}$$

Conhecendo os custos unitários associados a cada período, e recorrendo à equação B.25 foram calculados os custos diários associados a cada período.

$$\text{Custo}_{\text{em período de ponta}} = E_{\text{consumida em horário de ponta}} * \text{Custo}_{\text{unitário em ponta}} \quad (\text{B.25})$$

$$\text{Custo}_{\text{em período de ponta}} = 76,7 * 0,06941 = 5,32 \text{ €/dia}$$

$$\text{Custo}_{\text{em período de cheia}} = 76,7 * 0,06753 = 5,18 \text{ €/dia}$$

$$\text{Custo}_{\text{em período de vazio}} = 102,3 * 0,05567 = 5,69 \text{ €/dia}$$

$$\text{Custo}_{\text{em período de super vazio}} = 150,9 * 0,05389 = 8,13 \text{ €/dia}$$

Somando estes custos obtemos o custo diário que seria de esperar caso se recorresse à energia elétrica e não ao gás natural. Este custo seria de 24,3 €/dia o que corresponderia a um custo anual de 5 839 €. No caso de se utilizar gás natural este custo seria de 10 733 €/ano, assim a poupança anualmente seria de 1 776 €.

Para a olaria 2.2 os cálculos realizados foram os mesmos, estando presentes os resultados nas tabelas B.13, B.14 e B.15.

Tabela B.13 - Percentagens de tempo que o gerador da olaria 2.2 passa em cada período horário.

Tempo em ponta	9:00 - 10:30		=	1,5	h	10%
Tempo em cheia	8:00 - 9:00	10:30 - 15:00	=	5,5	h	37%
Tempo em vazio	00:03 - 2:00	6:00 - 8:00	=	3,95	h	26%
Tempo em super vazio	2:00 - 6:00		=	4	h	27%
			Total	14,95	h	100%

Tabela B.14 - Consumo energético em cada período horário do gerador da olaria 2.2.

Período	Consumo (kWh)
Em ponta	113,0
Em cheia	414,5
Em vazio	297,7
Em super vazio	301,4

Tabela B.15 - Custos associados à transição para energia elétrica, no caso da olaria 2.2.

Custos diários		
Em ponta	7,85	€
Em cheia	28,0	€
Em vazio	16,6	€
Em super vazio	16,2	€
Total diário	68,7	€/dia
Total anual	16 476	€/ano
Custo em GN	29 742	€/ano
Poupança	13 266	€/ano

Anexo C – Aplicação de energia fotovoltaica

Para o estudo da incorporação de energia fotovoltaica no aquecimento das olarias foi utilizado o programa SCE.ER disponibilizado online pela DGEG.

Inicialmente a interface onde se tem de preencher a localização, a categoria e seleccionar a tecnologia apresenta-se como na figura C.1.

SCE.ER Cálculos regulamentares do Sistema de Certificação de Edifícios
relativos ao aproveitamento de Energias Renováveis ⓘ
versão 1.7.0 [2020-01-07]

Local: Valadares
(Vila Nova de Gaia, Grande Porto)

Categoria: Edifícios de Comércio e Serviços

Definições: Necessidades de AQS

Tecnologias:

- Solar Térmico - AQS
- Solar Fotovoltaico**
- Biomassa - Combustão
- Geotermia - Baixa Entalpia
- Bombas de calor
- Eólica - Pequena Turbina
- Hídrica - Pequeno Aproveitamento

✗ eliminar uma opção ##### inputs ⓘ informações
+ adicionar nova opção 📄 seleção de opções

Figura C.1 - Interface inicial do programa SCE.ER.

Selecionando a tecnologia “Solar Fotovoltaico” a programa remete para uma nova interface, onde o usuário tem outros inputs para preencher. Pode-se ver esta interface na figura C.2.

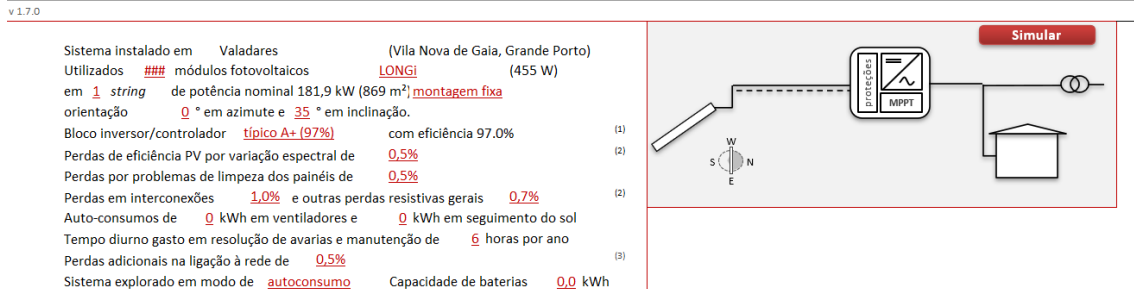


Figura C.2 - Interface da tecnologia "Sistema Solar Fotovoltaico".

No número de módulos fotovoltaicos foram colocados 400 pois é o máximo que o programa aceita. Criou-se o modelo LONGi onde foram inseridas todas as características dos painéis já implementados na empresa. Selecionou-se o tipo de montagem como “montagem fixa”. De seguida teve de ser preenchido o autoconsumo onde se mencionam os valores das necessidades energéticas ao longo das 24 horas diárias.

Olaria 2.1

$t_{\text{funcionamento}} = 7,4 \text{ h/semana}$

Energia necessária = 2 033 kWh/semana

Potência necessária = 274,7 kW, sendo que esta potência é apenas para um dia de funcionamento.

Sabendo quantas horas o gerador funciona por semana é possível saber quantas funcionará por dia:

$$t = \frac{7,4}{5} = 1,5 \text{ h/dia}$$

O tempo de funcionamento da olaria é de 8 h e por isso a potência necessária a cada hora pode ser estimada da seguinte forma:

$$\% \text{ tempo que o gerador está ligado em cada dia} = \frac{1,5 \text{ h}}{8 \text{ h}} * 100 = 18,8 \%$$

$$\text{Potência horária estimada} = 274 \text{ 700 W} * 0,188 = 51 \text{ 644 W}$$

Olaria 2.2

$t_{\text{funcionamento}} = 20,1 \text{ h/semana}$

Energia necessária = 5 633 kWh/semana

Potência necessária = 280,2 kW, sendo que esta potência é apenas para um dia de funcionamento.

Sabendo quantas horas o gerador funciona por semana é possível saber quantas funcionará por dia:

$$t = \frac{20,1}{5} = 4 \text{ h/dia}$$

O tempo de funcionamento da olaria é de 15 h e por isso a potência necessária a cada hora pode ser estimada da seguinte forma:

$$\% \text{ tempo que o gerador está ligado em cada dia} = \frac{4 \text{ h}}{15 \text{ h}} * 100 = 26,7 \%$$

Potência horária estimada = $280\,200 \text{ W} * 0,267 = 74\,826 \text{ W}$

A certas horas do dia ambos os geradores estão em funcionamento pelo que as necessidades são:

Necessidade total olaria 2 = $51\,644 + 74\,826 = 126\,470 \text{ W}$

Definição de perfil de consumo elétrico

Consumo horário: segunda-feira a sexta-feira																								
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Potência (W)	74826	74826	74826	126470	126470	126470	126470	126470	126470	126470	126470	74826	74826	74826	74826	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Consumo horário: fins de semana																								
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Potência (W)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ocupação mensal												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on

Estatísticas	
segunda a sexta: média	63981 W <=> ##### kWh por dia
fins de semana: média	0 W <=> 0,0 kWh por dia
em base anual: média	45826 W <=> ##### kWh por dia <=> 401710 kWh por ano

Figura C.3 - Interface para inserir dados de necessidades energéticas.

Na tabela C.1 estão presentes os valores das necessidades a cada hora da olaria 2.1, 2.2 e necessidade total da olaria 2. Estes valores serviram para preencher a figura C.3.

Tabela C.1 - Necessidades energéticas da olaria 2.

Olaria 2.1	Olaria 2.2
51 644 W	74 826 W
TOTAL: 126 470 W	

Com estes valores e sabendo o horário de funcionamento sabe-se que existem horas em que o gerador da olaria 2.2 funciona sozinho, horas em que o da olaria 2.1 e 2.2 funcionam em simultâneo e horas do dia em que nenhum deles se encontra em funcionamento.

Assim, na interface da figura C.3, na hora de 1 a 3 as necessidades são apenas as do gerador da olaria 2.2. Desde a hora 4 até à hora 11 são as necessidades dos dois geradores em conjunto. Nas horas 12 a 15 volta a só ser necessário satisfazer as necessidades do gerador da olaria 2.2 pois o da 2.1 é desligado. A partir da hora 15 nenhum dos geradores se encontra em funcionamento pelo que as necessidades são nulas.

Relativamente, às necessidades ao fim de semana estas são nulas a todas as horas do dia uma vez que os geradores apenas funcionam a dias de semana.

Preenchida esta página, regressa-se à interface da figura C.2 e procede-se à simulação. Acabando a simulação é emitido um PDF. Para o caso da aplicação específica o documento PDF está apresentado na figura C.4.

Relatório de simulação de sistema solar fotovoltaico

Sumário

Instalação em Valadares
(Vila Nova de Gaia)
869,4 m² de módulos LONGi
montagem fixa
com inclinação 35° e orientação 0°.
Potência: 181,9 kW (nominal)

energia solar incidente: 1 556 922 kWh/ano
produção fotovoltaica potencial (DC): 303 723 kWh/ano
perdas de sistema (DC): -8 161 kWh/ano
perdas e consumos parasíticos (AC): -10 300 kWh/ano
produção (AC): 276 394 kWh/ano
autoconsumo (AC): 138 138 kWh/ano

Índices de desempenho
produtividade técnica: 1520 kWh/kW instalado
aproveitado: 759 kWh/kW instalado
rendimento relativo: 82% (performance ratio)
i.e. 17% da energia incidente
necessidades cobertas: 34%

Local e clima

NUTS III: Grande PortoMunicípio: Vila Nova de GaiaLocal: Valadares

elevação: Grande Porto m albedo: 5%

obstruções do horizonte

azimute: E -85° -80° -75° -70° -65° -60° -55° -50° NE -40° -35° -30° -25° -20° -15° -10° -5° S

altura angular: 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3

azimute: S 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° NW 50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° W

altura angular: 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3

Configuração e operação do sistema solar fotovoltaico

Sistema fotovoltaico ligado à rede, com 400 módulos LONGi (869,4 m²) com inclinação 35° e orientação 0°.
Potência nominal da instalação 181,9 kW; módulos organizados em 1 fileiras (strings). A tensão máxima é 42 V.
Degradação máxima do rendimento dos módulos: 0,0% por ano (informação não utilizada em cálculos).
Perdas ambientais: 0,5% por variação espectral, 0,5% por deposição de poeiras e sujidades sobre os módulos.
Perdas eléctricas (DC): 1,0% na interconexão de módulos, 0,7% perdas resistivas gerais).
Perdas operacionais: 6 horas (diurnas) para manutenção e reparação de avarias.
Bloco de inversão e controlo típico A+ (97%) com eficiência 97,0% (definição Europeia).
Perdas de 0,5% em transmissão e transformação para ligação à rede BT. Sem consumos parasíticos.
Sem baterias.
Sistema explorado em regime de autoconsumo.

Aproveitamento do recurso solar

radiação solar directa

horizontal (à superfície)

incidente nos módulos

absorvida pelos módulos

jan

fev

mar

abr

mai

jun

jul

ago

set

out

nov

dez

anual

3,0

5,3

8,7

11,7

14,7

18,3

19,2

16,6

12,1

6,0

3,7

2,0

10,1 kWh/m².dia

6,2

9,1

11,9

13,2

14,0

16,2

17,6

17,3

15,3

9,4

7,3

4,5

11,8 kWh/m².dia

6,1

9,0

11,7

12,9

13,7

15,8

17,2

16,9

15,0

9,3

7,3

4,4

11,6 kWh/m².dia

radiação solar global

no topo da atmosfera

na horizontal (à superfície)

incidente nos módulos

absorvida pelos módulos

jan

fev

mar

abr

mai

jun

jul

ago

set

out

nov

dez

anual

14,6

20,0

27,3

34,6

39,7

41,7

40,6

36,3

29,8

22,4

16,0

11,0

28,0 kWh/m².dia

6,4

9,9

15,0

19,4

23,3

26,6

26,9

23,5

18,0

11,4

7,5

5,0

16,1 kWh/m².dia

10,2

14,5

18,8

21,2

22,7

24,6

25,4

24,6

21,9

15,6

11,8

7,9

18,3 kWh/m².dia

9,9

14,0

18,1

20,5

21,9

23,7

24,5

23,8

21,2

15,1

11,4

7,7

17,6 kWh/m².dia

Desempenho energético

temperatura

ambiente (média diária)

nos módulos (média diurna)

jan

fev

mar

abr

mai

jun

jul

ago

set

out

nov

dez

anual

11

12

13

15

17

20

23

22

21

18

14

12

16 °C

33

35

38

37

39

43

47

52

52

46

43

35

42 °C

energia

radiação solar incidente

produção fotovoltaica (DC)

perdas do sistema (DC)

consumos parasíticos (AC)

outras perdas (AC)

produção disponível (AC)

necessidades do edifício (AC)

autoconsumo (AC)

acumulado entregue à rede, passível de remuneração (AC)

jan

fev

mar

abr

mai

jun

jul

ago

set

out

nov

dez

anual

74 126

94 785

135 831

148 452

163 597

171 985

183 644

177 833

153 478

112 900

82 852

57 458

1 556 922 kWh

15 062

19 138

26 947

29 271

31 993

34 204

34 886

33 687

29 256

22 268

16 619

11 494

303 723 kWh

-405

-514

-724

-787

-880

-919

-937

-905

-786

-598

-447

-309

-8 161 kWh

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0 kWh

-511

-649

-914

-993

-1 085

-1 160

-1 183

-1 142

-992

-755

-564

-390

-10 300 kWh

13 707

17 416

24 522

26 638

29 115

31 126

31 747

30 656

26 624

20 265

15 123

10 460

276 394 kWh

35 317

30 711

33 782

32 246

35 317

33 321

33 782

35 317

30 711

35 317

33 782

32 246

400 776 kWh

7 800

9 704

11 123

12 118

14 201

13 867

14 406

15 144

12 353

12 154

9 280

5 989

138 138 kWh

5 908

13 620

27 019

41 539

56 452

72 708

90 048

105 560

119 831

127 942

133 785

138 138

138 138 kWh

Avaliação do desempenho

rendimento global: 17% da energia incidente

produtividade técnica: 1520 kWh/kW instalado

rendimento relativo: 82% (performance ratio)

i.e. 318 kWh/m² instalado

exploração real: 759 kWh/kW instalado

i.e. 159 kWh/m² instalado

(sistema provavelmente sobredimensionado)

Análise para DL 153/2014 (Unidades de Produção Distribuída)

Potência do sistema: 181,9 kW
kWh < ##### kWh

= deve ser menor que a potência contratada
[produção anual < consumo anual]

Passível de remuneração: ##### kWh

Figura C.4 - Resultados obtidos pela simulação do SCE.ER.

Sendo que apenas 34 % das necessidades seriam cobertas, 66 % da energia elétrica teria de ser obtida a partir da rede. Na tabela C.2 estão apresentados os custos anuais no caso de 100 % da energia elétrica ser da rede.

Tabela C.2 - Custos associados à utilização da energia elétrica da rede.

Olaria 2.1	Olaria 2.2
5 839 €	16 476
TOTAL: 22 314 €	

Sendo que 34 % das necessidades seriam cobertas pela energia elétrica produzida pelos painéis, ao fim do ano seriam poupados cerca de 7 587 €.

$$Poupança = 22\,314 * 0,34 = 7\,587 \text{ €}$$

Anexo D – Aparelhos utilizados

Para possibilitar o desenvolvimento de todo o trabalho foi necessário recorrer a diversos equipamentos de medição. Neste anexo encontram-se registadas as características dos aparelhos utilizados.

- **Higrómetro**

As temperaturas do interior das olarias e dos espaços envolventes foram medidas recorrendo ao uso de um higrómetro, cujas características se encontram na tabela D.1.

Tabela D.1 - Características do aparelho de medição de temperaturas.

Marca	Trotec
Descrição	Clima DataLogger
Modelo	BL30
Alimentação	Bateria 3,6 V
Temperaturas Limite (Min/Máx)	-40 °C / 70 °C
Humidades Relativas Limite (Min/Máx)	0 % / 100 %