



# **Desenvolvimento de programa para simulação de sistema integrado de energias renováveis para a produção e conservação de queijo**

**TIAGO MIGUEL MARTINS TEIXEIRA**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de Especialização de Energia, Refrigeração e Climatização

Orientador:

Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro

Júri:

Presidente: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Vogais:

Doutor Daniel José Medronho Foito

Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro

Novembro de 2025



# **Desenvolvimento de programa para simulação de sistema integrado de energias renováveis para a produção e conservação de queijo**

**TIAGO MIGUEL MARTINS TEIXEIRA**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de Especialização de Energia, Refrigeração e Climatização

Orientador:

Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro, ISEL/IPL

Júri:

Presidente: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes, ISEL/IPL

Vogais:

Doutor Daniel José Medronho Foito, EST/IPS

Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro, ISEL/IPL



# Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero expressar a minha sincera gratidão a toda a minha família, em especial aos meus pais pelo amor incondicional e pelo apoio constante que sempre me proporcionaram, ao meu irmão pelo estímulo permanente para dar o meu melhor e aos meus avós, por serem uma fonte de inspiração e pela motivação que me ofereceram ao longo desta etapa.

Aos meus amigos, gostaria de manifestar o meu profundo agradecimento por estarem sempre ao meu lado, pelos momentos partilhados e pelo vosso apoio fundamental na superação dos diversos desafios da vida.

Ao meu orientador, Professor Doutor Joaquim Monteiro, não posso deixar de reconhecer a sua constante disponibilidade e paciência, bem como todo o apoio prestado, que teve um papel preponderante na realização desta dissertação.

Não posso deixar de expressar o meu sincero agradecimento a todos os envolvidos no projeto CASEUS, do qual tive a oportunidade de fazer parte e que foi preponderante para a aquisição de um conhecimento mais aprofundado sobre os temas abordados nesta dissertação, contribuindo de forma significativa para o seu desenvolvimento. Dirijo um agradecimento especial ao Professor Doutor João Garcia, pela confiança depositada em mim ao permitir a minha integração neste projeto e pelo apoio constante prestado ao longo de toda a realização desta dissertação.

Gostaria igualmente de estender o meu agradecimento a todos os meus professores, cujo conhecimento e experiência foram determinantes para o meu sucesso académico, assim como a todos os meus colegas, pelo apoio e amizade que tanto contribuíram para o meu crescimento académico e pessoal.

Por último, desejo expressar o meu agradecimento a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para que alcançasse os objetivos a que me propus e para o meu desenvolvimento pessoal.

.....

## Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor



Lisboa, 28 de novembro de 2025



# **Desenvolvimento de programa para simulação de sistema integrado de energias renováveis para a produção e conservação de queijo**

## **Resumo**

A presente dissertação consiste na elaboração de um programa de simulação destinado a efetuar a gestão energética de uma unidade de produção de queijo, integrando fontes de energia renovável, de modo a permitir a análise da sua viabilidade técnico-económica e, posteriormente, fundamentar a sua futura implementação prática.

Para o desenvolvimento deste programa de simulação, estabeleceu-se como caso de estudo um protótipo de unidade queijeira, implementado no âmbito do projeto CASEUS e situada no Instituto Politécnico de Beja. Este protótipo integra painéis fotovoltaicos, coletores solares, uma turbina eólica e uma caldeira de pellets, permitindo colmatar os consumos energéticos associados à produção de queijo, através da energia obtida a partir de fontes renováveis.

Foram realizados três ensaios diferentes, com o objetivo de permitir avaliar a viabilidade da solução proposta sob diferentes condições atmosféricas ao longo do ano e em várias regiões de Portugal. Os resultados obtidos através da aplicação informática elaborada foram posteriormente comparados com os resultados obtidos no protótipo da unidade queijeira e com os dados de indústrias queijeiras tradicionais, demonstrando melhorias económicas e ambientais da unidade em estudo.

No primeiro ensaio registou-se um lucro de 0,0071 €/kg<sub>queijo</sub> e umas emissões de 0,0188 kg CO<sub>2</sub>e/kg<sub>queijo</sub>. Nos segundo e terceiro ensaios, obteve-se, respetivamente, um lucro de 0,0190 €/kg<sub>queijo</sub> e um custo de 0,0551 €/kg<sub>queijo</sub>, enquanto as emissões de CO<sub>2</sub> situaram-se em 0,0109 e 0,0414 kg CO<sub>2</sub>e/kg<sub>queijo</sub>, considerando um período semanal.

Da comparação entre os resultados da ferramenta informática e os dados experimentais retirados do protótipo, evidenciou-se uma elevada fiabilidade do modelo, apresentando um erro de apenas 2,3% relativamente à quantidade de energia proveniente de fontes renováveis.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Consumo Energético, Aplicação Informática, Pasteurização, Coagulação



# Development of a program for the simulation of an integrated renewable energy system for cheese production and preservation

## Abstract

This dissertation presents the development of a simulation program aimed at managing the energy consumption of a cheese production facility, integrating renewable energy sources to allow the assessment of its techno-economic feasibility and, subsequently, supporting its potential practical implementation.

For the development of this simulation program, a prototype cheese production unit was established as a case study, developed within the framework of the CASEUS project and located at the Polytechnic Institute of Beja. This prototype integrates photovoltaic panels, solar collectors, a wind turbine, and a pellet boiler, enabling the coverage of the energy consumption associated with cheese production through energy provided by renewable sources.

Three different tests were conducted to evaluate the feasibility of the proposed solution under varying atmospheric conditions throughout the year and across different regions of Portugal. The results obtained from the developed software application were later compared with those obtained from the prototype cheese production unit and the data from traditional cheese production facilities, showing both economic and environmental improvements.

In the first test, a profit of 0,0071 €/kg<sub>cheese</sub> and emissions of 0,0188 kg CO<sub>2</sub>e/kg<sub>cheese</sub> were recorded. In the second and third tests, a profit of 0,0190 €/kg<sub>cheese</sub> and a cost of 0,0551 €/kg<sub>cheese</sub> were obtained, respectively, while CO<sub>2</sub> emissions amounted to 0,0109 and 0,0414 kg CO<sub>2</sub>e/ kg<sub>cheese</sub>, considering a weekly period.

The comparison between the results of the software tool and the experimental data from the prototype revealed a high degree of reliability of the model, showing an error of only 2,3% regarding the amount of energy derived from renewable sources.

Keywords: Renewable Energies, Energy Consumption, Simulation Program, Pasteurization, Coagulation



# Lista de símbolos e de siglas

## Símbolos

$\eta$  → Eficiência

$\rho$  → Densidade

$\dot{m}$  → Caudal

$c_p$  → Calor específico

$\cos \varphi$  → Fator de potência

## Acrónimos e Siglas

UE → União Europeia

DOP → Denominação de Origem Protegida

IGP → Indicação Geográfica Protegida

INE → Instituto Nacional de Estatística

LTLT → Low Temperature, Long Time

HTST → High Temperature, Short Time

SEC → Consumo Energético Específico

GEE → Gases com Efeito de Estufa

RED III → Diretiva Europeia das Energias Renováveis

RNC 2050 → Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050

PRR → Plano de Recuperação e Resiliência

FPC → Coletor Solar Plano

ETC → Coletor de Tubo a Vácuo

PTC → Coletor Parabólico de Ranhura

LFC → Coletor Linear Fresnel

HHST → High Heat, Short Time

UHT → Ultra High Temperature

CASEUS → Combined use of renewAble energy sources to improve energy efficiency  
in cheeSe industry

PCM → Phase Change Material

DC → Corrente Contínua

AC → Corrente Alternada

PCI → Poder Calorífico Inferior

BT → Baixa Tensão

BTN → Baixa Tensão Normal

BTE → Baixa Tensão Especial

*MT* → *Média Tensão*

*AT* → *Alta Tensão*

*MAT* → *Muito Alta Tensão*

*CIF* → *Cost, Insurance and Freight*

*FOB* → *Free on Board*

*RESP* → *Rede Elétrica de Serviço Público*

*CUR* → *Código Único de Registo*

*OMIE* → *Operador do Mercado Ibérico de Eletricidade*

*AVAC* → *Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado*

# Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	MOTIVAÇÃO	2
1.2	OBJETIVOS	2
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
<b>2</b>	<b>ESTADO DE ARTE</b>	<b>5</b>
2.1	IMPORTÂNCIA DO SETOR QUEJEIRO	5
2.1.1	<i>União Europeia (UE)</i>	5
2.1.2	<i>Portugal</i>	9
2.2	PROCESSOS DE FABRICO DO QUEIJO	10
2.2.1	<i>Receção e pré-tratamento</i>	11
2.2.2	<i>Pasteurização</i>	11
2.2.3	<i>Coagulação</i>	12
2.2.4	<i>Moldagem e prensagem</i>	13
2.2.5	<i>Salga</i>	13
2.2.6	<i>Cura/Maturação</i>	13
2.3	CONSUMOS ENERGÉTICOS NA PRODUÇÃO DE QUEIJO	14
2.4	TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA QUEJEIRA	17
2.4.1	<i>Panorama atual</i>	19
<b>3</b>	<b>CASO DE ESTUDO</b>	<b>25</b>
3.1	PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS	28
3.2	TURBINA EÓLICA	30
3.3	COLETORES SOLARES TÉRMICOS	31
3.4	CALDEIRA DE PELLETS	32
3.5	DEPÓSITOS DE ACUMULAÇÃO	33
3.6	BATERIA	34
3.7	EVAPORADOR	35
3.8	UNIDADE DE CONDENSAÇÃO	38
3.9	PCM (MATERIAL MUDANÇA DE FASE)	38
3.10	CÂMARA DE CURA	39
3.11	TANQUE DE PASTEURIZAÇÃO	40
3.12	TANQUE DE COAGULAÇÃO	41
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DE CÁLCULO</b>	<b>43</b>
4.1	CUSTOS ENERGÉTICOS	43
4.1.1	<i>Custo eletricidade</i>	43
4.1.2	<i>Custo pellets</i>	47
4.1.3	<i>Venda do excedente de eletricidade à rede</i>	49

4.2	APLICAÇÃO INFORMÁTICA .....	49
4.2.1	<i>Processo de cura (energia elétrica)</i> .....	52
4.2.2	<i>Processo de pasteurização</i> .....	56
4.2.3	<i>Processo de coagulação</i> .....	59
4.2.4	<i>Interface gráfica do utilizador</i> .....	62
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>67</b>
5.1	CASO 1 - PROTÓTIPO CASEUS (26 DE MAIO A 1 DE JUNHO DE 2025).....	68
5.1.1	<i>Variações do caso 1 (alterações atmosféricas adversas)</i> .....	72
5.2	CASO 2 - PROTÓTIPO CASEUS (3 DE FEVEREIRO A 9 DE FEVEREIRO DE 2025) .....	76
5.3	CASO 3 - SERRA DA ESTRELA.....	80
5.4	COMPARAÇÃO DO PROTÓTIPO COM QUEIJARIAS TRADICIONAIS .....	85
5.5	ANÁLISE ECONÓMICA DO PROTÓTIPO .....	89
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO</b> .....	<b>93</b>
6.1	CONCLUSÕES .....	93
6.2	TRABALHO FUTURO .....	94
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>95</b>
	<b>ANEXO 1 - ESQUEMA DO SISTEMA</b> .....	<b>99</b>
	<b>ANEXO 2 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS</b> .....	<b>100</b>
	ANEXO 2.1 - PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS .....	101
	ANEXO 2.2 - TURBINA EÓLICA .....	102
	ANEXO 2.3 - COLETORES SOLARES .....	103
	ANEXO 2.4 - CALDEIRA DE PELLETS .....	104
	ANEXO 2.5 - BATERIA .....	105
	ANEXO 2.6 - INVERSOR .....	106
	ANEXO 2.7 - EVAPORADOR .....	107
	ANEXO 2.8 - UNIDADE DE CONDENSAÇÃO .....	108
	ANEXO 2.9 - PCM .....	109
	<b>ANEXO 3 - RADIAÇÃO SOLAR E VELOCIDADE DO VENTO (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO FOTOVOLTAICO DA COMISSÃO EUROPEIA)</b> .....	<b>110</b>
	ANEXO 3.1 - INSTITUTO POLITÉCNICO DE BEJA .....	111
	ANEXO 3.2 - SERRA DA ESTRELA .....	112
	<b>ANEXO 4 – PERFIS DE CONSUMO DO PROTÓTIPO</b> .....	<b>113</b>
	ANEXO 4.1 - SEMANA DE 26 DE MAIO A 1 DE JUNHO DE 2025 .....	114
	ANEXO 4.2 - SEMANA DE 3 A 9 DE FEVEREIRO DE 2025.....	115
	<b>ANEXO 5 - FOTOS DO PROTÓTIPO INSTALADO NO INSTITUTO POLITÉCNICO DE BEJA</b> .....	<b>116</b>

# Índice de figuras

FIGURA 2.1 - COMPARAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA INDÚSTRIA ALIMENTAR, ENTRE AS DIVERSAS INDÚSTRIAS DE MANUFATURA, NO VOLUME DE NEGÓCIOS E NO VALOR ACRESCENTADO DA EU (FOODDRINKEUROPE, 2024A). .....	6
FIGURA 2.2 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DIVERSOS SETORES DA INDÚSTRIA ALIMENTAR, NO VOLUME DE NEGÓCIOS, NO VALOR ACRESCENTADO, EM PESSOAS EMPREGADAS E NO NÚMERO DE EMPRESAS (FOODDRINKEUROPE, 2024A). .....	7
FIGURA 2.3 - PRINCIPAIS PRODUTORES DE LEITE DE VACA EM MILHÕES DE TONELADAS NO ANO DE 2019 (BAKALIS ET AL., 2020). .....	7
FIGURA 2.4 - PRINCIPAIS EXPORTADORES DE LEITE DE VACA EM MILHARES DE TONELADAS NO ANO DE 2019 (BAKALIS ET AL., 2020). .....	8
FIGURA 2.5 - DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DO LEITE CRU PROCESSADO PARA DIFERENTES PRODUTOS LÁCTEOS (BAKALIS ET AL., 2020). .....	8
FIGURA 2.6 - PRODUÇÃO DE LEITE CRU DE VACA EM MILHARES DE TONELADAS NOS PAÍSES DA EU NO ANO DE 2017 (BAKALIS ET AL., 2020). .....	10
FIGURA 2.7 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROCESSO DE FABRICO DE QUEIJO (COSTA, 2011). .....	11
FIGURA 2.8 - DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS QUEIJS TRADICIONAIS PORTUGUESES PROTEGIDOS (DOP E IGP) (ALVARENGA ET AL., 2020). .....	19
FIGURA 2.9 - ESQUEMA DO SISTEMA DE PASTEURIZAÇÃO DO ESTUDO, UTILIZADO PARA FINS DE SIMULAÇÃO (PANCHAL ET AL., 2018). .....	21
FIGURA 2.10 - TEMPERATURA DO LEITE EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA O SISTEMA DE PASTEURIZAÇÃO DO ESTUDO (PANCHAL ET AL., 2018). .....	22
FIGURA 3.1 - ESQUEMA DO SISTEMA INTEGRADO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA PRODUÇÃO E CONSERVAÇÃO DO QUEIJO [EXTRAÍDO DO PROJETO CASEUS]. .....	27
FIGURA 3.2 - PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS HiKu6 Mono PERC 545MS. .....	28
FIGURA 3.3 - COBERTURA DOS BANCOS DE DADOS DO PVGIS-SARAH3 E PVGIS-ERA5 (COMISSÃO EUROPEIA - CENTRO COMUM DE INVESTIGAÇÃO, 2024B). .....	29
FIGURA 3.4 - SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO FOTOVOLTAICO DA COMISSÃO EUROPEIA (COMISSÃO EUROPEIA - CENTRO COMUM DE INVESTIGAÇÃO, 2024A). .....	30
FIGURA 3.5 - TURBINA EÓLICA ISTA BREEZE I-500. .....	31
FIGURA 3.6 - COLETOR SOLAR FKC-2S CTE. .....	32
FIGURA 3.7 - CALDEIRA DE PELLETS CANTINA NOVA 30 kW. .....	33
FIGURA 3.8 - DEPÓSITO DE ACUMULAÇÃO DE 500 L DA VIEIRINOX. .....	33
FIGURA 3.9 - DEPÓSITO DE ACUMULAÇÃO W 300 EP C. .....	34
FIGURA 3.10 - BATERIA T-BAT H 5.8. .....	35
FIGURA 3.11 - INVERSOR X1-HYBRID-3.7. .....	35
FIGURA 3.12 - DIAGRAMA DE <i>MOLLIER</i> DO CICLO IDEAL DE COMPRESSÃO A VAPOR (SEMEDO, 2023). .....	36
FIGURA 3.13 - DIFERENÇAS ENTRE O CICLO FRIGORÍFICO IDEAL E REAL (SEMEDO, 2023). .....	37
FIGURA 3.14 - EVAPORADOR DF 5010 CO <sub>2</sub> . .....	37

FIGURA 3.15 - UNIDADE DE CONDENSAÇÃO UMT T 030 MTDX.....	38
FIGURA 3.16 - PCM RT8HC (CALVO, 2024).....	39
FIGURA 4.1 - FLUXOGRAMA PRINCIPAL DO ALGORITMO DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO .....	52
FIGURA 4.2 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO ASSOCIADO AO PROCESSO DE CURA (ENERGIA ELÉTRICA).....	55
FIGURA 4.3 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO ASSOCIADO AO PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO. ....	59
FIGURA 4.4 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO ASSOCIADO AO PROCESSO DE COAGULAÇÃO. ....	62
FIGURA 4.5 - SECÇÃO DA APLICAÇÃO INFORMÁTICA REFERENTE À INTRODUÇÃO DOS DADOS TÉCNICOS DOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA E AO PREÇO DE VENDA DA ELETRICIDADE À REDE.....	63
FIGURA 4.6 - SECÇÃO DA APLICAÇÃO INFORMÁTICA REFERENTE À INTRODUÇÃO DE DADOS SOBRE AS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS. ....	64
FIGURA 4.7 - SECÇÃO DA APLICAÇÃO INFORMÁTICA REFERENTE À INTRODUÇÃO DE DADOS SOBRE OS CONSUMOS ENERGÉTICOS. ....	65
FIGURA 4.8 - SECÇÃO DA APLICAÇÃO INFORMÁTICA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO. ....	65
FIGURA 4.9 - SECÇÃO DA APLICAÇÃO INFORMÁTICA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DOS GRÁFICOS DE GESTÃO ENERGÉTICA DO SISTEMA.....	66
FIGURA 5.1 - GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA PARA O CASO 1. ....	69
FIGURA 5.2 - CONTRIBUIÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO SUPRIMENTO DE ENERGIA AO SISTEMA PARA O CASO 1. .....	70
FIGURA 5.3 - GESTÃO ENERGÉTICA NO PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO DO SISTEMA PARA O CASO 1. ....	70
FIGURA 5.4 - GESTÃO ENERGÉTICA NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO DO SISTEMA PARA O CASO 1. ....	71
FIGURA 5.5 - GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA PARA O CASO 1 COM CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS ADVERSAS. .....	73
FIGURA 5.6 - GESTÃO ENERGÉTICA NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO DO SISTEMA PARA O CASO 1 COM CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS ADVERSAS. ....	74
FIGURA 5.7 - GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA PARA O CASO 1, COM AUSÊNCIA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA PELOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	75
FIGURA 5.8 - GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA PARA O CASO 1, COM AUSÊNCIA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA PELA TURBINA EÓLICA. ....	75
FIGURA 5.9 - GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA PARA O CASO 2. ....	77
FIGURA 5.10 - CONTRIBUIÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO SUPRIMENTO DE ENERGIA AO SISTEMA PARA O CASO 2. .....	78
FIGURA 5.11 - GESTÃO ENERGÉTICA NO PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO DO SISTEMA PARA O CASO 2. ....	78
FIGURA 5.12 - GESTÃO ENERGÉTICA NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO DO SISTEMA PARA O CASO 2. ....	79
FIGURA 5.13 - GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA PARA O CASO 3. ....	81
FIGURA 5.14 - CONTRIBUIÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO SUPRIMENTO DE ENERGIA AO SISTEMA PARA O CASO 3. .....	82
FIGURA 5.15 - GESTÃO ENERGÉTICA NO PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO DO SISTEMA PARA O CASO 3. ....	83
FIGURA 5.16 - GESTÃO ENERGÉTICA NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO DO SISTEMA PARA O CASO 3. ....	83

FIGURA 5.17 - GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA DO PROTÓTIPO INSTALADO NO INSTITUTO POLITÉCNICO DE BEJA, PARA MAIO DE 2025.....	87
FIGURA 5.18 - COMPARAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DA ENERGIA PROVENIENTE DE FONTES RENOVÁVEIS NO ABASTECIMENTO DAS NECESSIDADES ELÉTRICAS DO SISTEMA ENTRE O PROTÓTIPO E O PROGRAMA DE SIMULAÇÃO. ....	88



# Índice de tabelas

TABELA 2.1 - RESUMO DOS VALORES DE CONSUMO ELÉTRICO EM DIFERENTES INSTALAÇÕES NO INTERIOR DE PORTUGAL (NUNES <i>ET AL.</i> , 2015).....	15
TABELA 2.2 - REPARTIÇÃO MÉDIA DA ENERGIA CONSUMIDA NAS DIVERSAS ETAPAS DO FABRICO DO QUEIJO (XU ET AL., 2009). .....	15
TABELA 2.3 - TABELA RESUMO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS NA PRODUÇÃO DE QUEIJO DE VÁRIAS REFERÊNCIAS... 16	
TABELA 4.1 - PERÍODOS HORÁRIOS APLICÁVEIS A PORTUGAL (OLIVEIRA, 2022). .....	46
TABELA 4.2 - TARIFAS APLICÁVEIS AO ESCALÃO BTN, PARA UMA POTÊNCIA CONTRATADA IGUAL OU INFERIOR A 2,3 KVA (ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS (ERSE), 2024A). .....	47
TABELA 4.3 - EVOLUÇÃO DOS PREÇOS MÉDIOS DA TONELADA DE PELLETS NO PERÍODO DE 2016 A 2019, EM PORTUGAL. ....	48
TABELA 4.4 - ESTIMATIVA DOS PREÇOS DA TONELADA DE PELLETS PARA OS ANOS DE 2025 A 2027 (ARGUS MEDIA, 2024). .....	48
TABELA 4.5 - PREÇO SEMANAL MÉDIO DO MERCADO DIÁRIO PARA PORTUGAL (OMIE, 2025). .....	49
TABELA 5.1 - CUSTOS ELÉTRICOS PARA AS DIFERENTES TARIFAS APLICÁVEIS PARA O CASO 1. ....	72
TABELA 5.2 - PREÇO A PAGAR PARA O CASO 1. ....	72
TABELA 5.3 - DIFERENÇA ENTRE OS PREÇOS DE COMPRA E DE VENDA DE ENERGIA À REDE ENTRE O CASO 1 E O CASO 1COM CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS ADVERSAS .....	74
TABELA 5.4 - CUSTOS ELÉTRICOS PARA AS DIFERENTES TARIFAS APLICÁVEIS PARA O CASO 2. ....	80
TABELA 5.5 - PREÇO A PAGAR PARA O CASO 2. ....	80
TABELA 5.6 - CUSTOS ELÉTRICOS PARA AS DIFERENTES TARIFAS APLICÁVEIS PARA O CASO 3. ....	84
TABELA 5.7 - PREÇO A PAGAR PARA O CASO 3. ....	84
TABELA 5.8 - RESUMO DOS CUSTOS E EMISSÕES DE CO2 PARA O PROTÓTIPO E PARA AS INDÚSTRIAS QUEIJEIRAS TRADICIONAIS.....	86
TABELA 5.9 - ORÇAMENTO DO PROTÓTIPO DO PROJETO CASEUS (CALVO, 2024). .....	89
TABELA 5.10 - TARIFAS DE ENERGIA PARA O GÁS NATURAL (ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS (ERSE), 2025). .....	91



# 1 Introdução

Atualmente, um dos principais desafios enfrentados pela sociedade global refere-se às alterações climáticas. Nas últimas décadas, a União Europeia (UE) vem sublinhando a necessidade de integrar fontes de energia renovável nos diversos setores da economia, estabelecendo metas, como as definidas na RED III (*Renewable Energy Directive*), que pretende aumentar a quota de energia proveniente de fontes renováveis até 2030 (União Europeia, 2023).

Perante estas medidas, Portugal tem demonstrado um desempenho bastante relevante, situando-se, em 2022, entre os dez países com maior contributo para a utilização de energia renovável no consumo nacional, ocupando o sexto lugar na União Europeia, com 34,7% do consumo final de energia proveniente de fontes renováveis (Calvo, 2024). Um dos setores de especial relevância é o setor da indústria alimentar, que desempenha um papel importante no consumo energético global e, conseqüentemente, no impacto ambiental associado às suas atividades. Dentro deste setor, a indústria queijeira assume particular destaque, sobretudo em Portugal, não apenas pela sua relevância económica (Neves, 2024), mas também por possuir um elevado consumo energético associado aos processos de produção de queijo, como a pasteurização, a coagulação e a cura (Ladha-Sabur *et al.*, 2019).

Além disso, o setor queijeiro português caracteriza-se pela predominância de unidades de produção situadas em zonas rurais e remotas, com elevada dependência de fontes energéticas tradicionais, como os combustíveis fósseis e, onde a aquisição de energia elétrica é realizada a preços superiores, o que compromete a competitividade destas unidades queijeiras (Alvarenga *et al.*, 2020).

Deste modo, a introdução da transição energética no setor queijeiro revela-se crucial, não apenas para reduzir o impacto ambiental associado à produção de queijo e cumprir com as metas estabelecidas pela União Europeia e pelo Governo Português relativas ao aumento da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, mas também para aumentar a eficiência dos processos produtivos e a competitividade das unidades queijeiras, especialmente daquelas localizadas em regiões rurais ou de difícil acesso à rede elétrica.

## 1.1 Motivação

Face à crescente preocupação com as alterações climáticas e a necessidade de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, torna-se essencial impulsionar a adoção de fontes de energia renovável em diversos setores da economia. Em Portugal, a indústria queijeira assume particular relevância, não apenas pela sua importância económica e cultural, mas também pelo elevado consumo energético associado aos processos de produção e conservação do queijo.

Grande parte das unidades queijeiras tradicionais continua a depender da eletricidade proveniente da rede elétrica, obtida maioritariamente a partir de combustíveis fósseis para satisfazer as suas necessidades energéticas, o que implica custos operacionais elevados e uma pegada ecológica significativa. Por isso, revela-se fundamental explorar soluções alternativas que contribuam para a transição energética no setor queijeiro, garantindo simultaneamente a sustentabilidade ambiental e a viabilidade económica.

Neste contexto, o desenvolvimento de ferramentas informáticas capazes de realizar a gestão da energia elétrica, proveniente de diversas fontes de energias renovável torna-se um elemento essencial em unidades de produção de queijo. Uma vez que permitem avaliar, em tempo real, a integração de diferentes fontes de energia renovável em queijarias. Adicionalmente, estas ferramentas informáticas permitem simultaneamente, a otimização da gestão energética nas unidades de produção de queijo e a avaliação dos custos energéticos e da pegada ecológica.

A motivação deste trabalho final de mestrado reside na possibilidade de contribuir para a modernização e sustentabilidade da indústria queijeira em Portugal, propondo uma solução inovadora, que promova a autossuficiência energética e reduza as emissões de gases com efeito de estufa. Para além disso, pretende-se fornecer uma ferramenta informática de análise que apoie na tomada de decisão quanto à viabilidade de implementação de sistemas de fornecimento de energia alternativos, em unidade de produção de queijo, potenciando o desenvolvimento sustentável em áreas rurais ou de difícil acesso à rede elétrica.

## 1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é o de desenvolver uma solução viável para a integração de fontes de energia renovável em uma unidade de produção e conservação de queijo, complementada pela criação de um programa de simulação capaz de fazer a gestão energética desse sistema integrado e de apoiar a análise da sua viabilidade para dimensionamento de outras unidades queijeiras idênticas.

Para alcançar esse objetivo, é necessário, numa fase inicial, aprofundar conhecimentos sobre a indústria queijeira, os processos atualmente utilizados na produção de queijo e

os respetivos consumos energéticos, além de identificar e analisar tecnologias de energia renovável atualmente aplicadas ou em estudo para o setor.

Numa fase subsequente, será definido um sistema integrado de energias renováveis para produção e conservação de queijo, que servirá de caso de estudo na presente dissertação. Com base neste sistema, será desenvolvido um algoritmo de decisão, o qual será implementado num programa de cálculo numérico, Microsoft Excel. A aplicação informática desenvolvida permitirá gerir a energia elétrica proveniente de fontes renováveis, do armazenamento e da rede elétrica, de modo fornecer, de forma otimizada, as necessidades energéticas do sistema.

Posteriormente ao desenvolvimento do programa de simulação, este será testado em vários cenários com diferentes combinações de fontes de energia renovável e situações de carga. Estes ensaios permitirão avaliar a viabilidade do algoritmo proposto e validar a fiabilidade dos resultados obtidos pela ferramenta informática. Adicionalmente, ir-se-á explorar a aplicação informática em outras localizações, onde as energias renováveis provenientes do sol e do vento são distintas. Com isto, pretende-se que esta ferramenta informática, futuramente, sirva de apoio à implementação de unidades queijeiras semelhantes noutras regiões.

### 1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos, com o objetivo de facilitar a compreensão dos conceitos teóricos atuais da indústria queijeira e das oportunidades existentes para promover uma transição energética que seja vantajosa tanto a nível ambiental como financeiro. Além disso, esta organização permitirá um entendimento claro do sistema de unidade queijeira com incorporação de fontes de energia renovável desenvolvido ao longo do trabalho.

Para o efeito, o capítulo 1 apresenta uma introdução à importância da transição energética no setor queijeiro, referindo também a motivação e os objetivos para a realização deste trabalho. O capítulo 2 aprofunda a relevância desta indústria a nível europeu e nacional, definindo os vários processos inerentes à produção de queijo e os respetivos consumos energéticos nas diversas fases do processo de fabrico do queijo nas unidades queijeiras tradicionais. Neste mesmo capítulo, são ainda apresentados alguns estudos que apresentam soluções para inclusão de fontes de energia renovável em diversos processos da produção de queijo, bem como casos reais de queijarias que, com o auxílio de tecnologias de energia renovável, conseguem produzir energia capaz de suprir parte das necessidades energéticas das unidades queijeiras.

O capítulo 3 tem como objetivo de apresentar detalhadamente um caso de estudo, já materializado fisicamente, que servirá para testar a ferramenta informática de gestão da energia elétrica, proveniente das fontes renováveis, das baterias ou da rede elétrica.

No capítulo 4 descreve-se o processo de desenvolvimento da ferramenta informática, nomeadamente o algoritmo implementado, que terá como finalidade, realizar a gestão energética do sistema de produção de energia renovável, visando tornar a unidade queijeira o mais autossuficiente possível.

O capítulo 5 destina-se a apresentar os resultados obtidos nos diferentes ensaios realizados com a ferramenta numérica. Posteriormente, estes resultados do programa de simulação serão comparados com os dados de consumo reportados para a indústria queijeira tradicional em vários estudos, bem como com os dados experimentais do protótipo, já em funcionamento.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões finais do trabalho desenvolvido e propõe perspectivas de trabalho futuro.

## 2 Estado de arte

Segundo Maganha (2006), o termo "queijo" refere-se a um produto lácteo, fresco ou maturado, obtido por meio da coagulação do leite, do leite reconstituído (integral, parcialmente ou totalmente desnatado) ou de soros lácteos, com separação parcial do soro. Este processo ocorre pela ação física do coalho, enzimas e bactérias específicas e, ácidos orgânicos, isolados ou combinados. Os componentes utilizados devem ser de qualidade adequada para consumo alimentar, sendo, também, permitido a adição de substâncias alimentares, especiarias, condimentos, aditivos específicos, substâncias aromatizantes e corantes.

Globalmente, o queijo é um produto lácteo de enorme relevância, devido ao seu elevado valor nutricional (Nunes *et al.*, 2015), sendo um alimento fundamental na dieta de milhões de pessoas. Consequentemente, o setor da produção de queijo assume uma importância estratégica no contexto das cadeias de produção agroalimentares, representando um segmento económico significativo a nível europeu e nacional. É precisamente esta relevância económica e social que justifica a necessidade de modernizar este setor, tornando-o mais sustentável e eficiente do ponto de vista energético, o que constitui o foco desta dissertação.

### 2.1 Importância do setor queijeiro

#### 2.1.1 União Europeia (UE)

A indústria alimentar representa um setor de significativa relevância para as economias europeia e portuguesa. Em 2021, este setor registou um volume de negócios de 1.196 mil milhões de euros (14,5%) e um valor acrescentado de 249 mil milhões de euros (11,4%), constituindo, assim, a indústria de manufatura com os valores mais elevados nestes indicadores, no contexto europeu, conforme ilustrado nos gráficos da Figura 2.1 (FoodDrinkEurope, 2024a). No entanto, relativamente aos dados mais recentes, para o primeiro trimestre de 2024 verificou-se um crescimento de 1,8% na produção da indústria alimentar face ao ano anterior. Contudo, registou-se uma diminuição de 0,7% no volume de negócios, porém, este decréscimo pode ser justificado pelo impacto que

a inflação teve sobre o setor. Ainda assim, quando comparado com o quarto trimestre de 2023, verifica-se um aumento de 1% no volume de negócios, o que indica sinais de recuperação nos últimos meses (FoodDrinkEurope, 2024b).

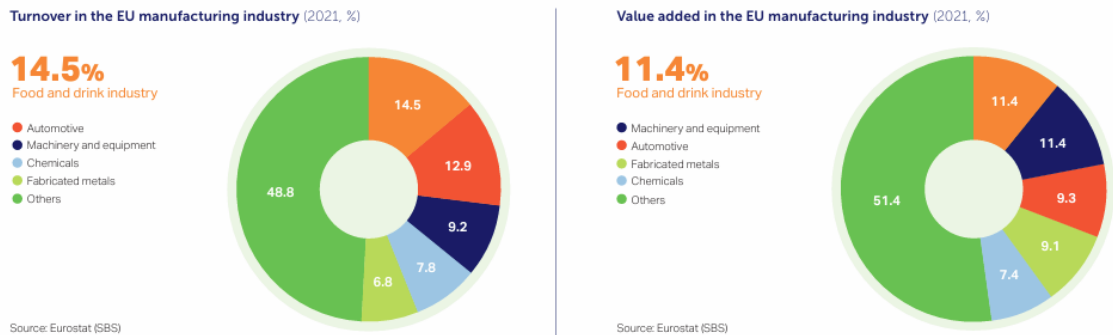


Figura 2.1 - Comparação da influência da indústria alimentar, entre as diversas indústrias de manufatura, no volume de negócios e no valor acrescentado da EU (FoodDrinkEurope, 2024a).

A indústria alimentar na União Europeia (UE) é caracterizada por ter uma significativa diversidade setorial. Apesar dessa variedade, os cinco principais setores representam, aproximadamente, três quartos do volume de negócios da indústria alimentar da UE e, por mais de 85% das empresas e dos trabalhadores empregados (FoodDrinkEurope, 2024a). Entre estes setores de maior relevância destaca-se a indústria de laticínios, que, em, 2022/2023, contribui com 19 mil milhões de euros em exportações para fora da EU (Albertone *et al.*, 2023) e, que segundo Nunes *et al.* (2025) contribui, substancialmente, para a atividade económica, uma vez que detém o terceiro maior volume de negócios do setor alimentar europeu, tal como ilustrado na Figura 2.2.



Figura 2.2 - Comparação entre os diversos setores da indústria alimentar, no volume de negócios, no valor acrescentado, em pessoas empregadas e no número de empresas (FoodDrinkEurope, 2024a).

O setor queijeiro integra a indústria de laticínios como um dos seus principais segmentos e, que à semelhança dos demais, tem o leite como a sua matéria-prima fundamental. Segundo Bakalis *et al.* (2020), em 2019, a EU destacou-se como o maior produtor mundial de leite de vaca, com uma produção de 156 milhões de toneladas, seguida dos Estados Unidos, com 99 milhões de toneladas. A Figura 2.3 apresenta um gráfico com a produção mundial de leite de vaca, em toneladas, no ano de 2019, evidenciado a liderança da UE no panorama global.

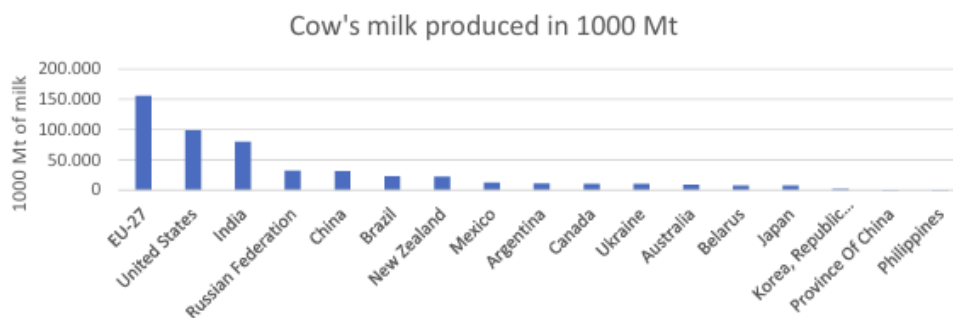


Figura 2.3 - Principais produtores de leite de vaca em milhões de toneladas no ano de 2019 (Bakalis *et al.*, 2020).

Adicionalmente e, conforme evidenciado na Figura 2.4, a UE também se destaca como o maior exportador mundial de leite de vaca, com uma exportação de 900 mil toneladas em 2019 (Bakalis *et al.*, 2020).

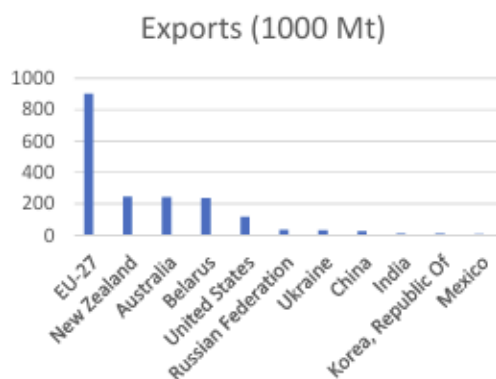


Figura 2.4 - Principais exportadores de leite de vaca em milhares de toneladas no ano de 2019 (Bakalis *et al.*, 2020).

Segundo Bakalis *et al.* (2020), o leite produzido na UE tem como principal finalidade a produção de queijo. Em 2017, a produção de queijo e manteiga totalizou 2,4 milhões de toneladas, o que exigiu a utilização de 46 milhões de toneladas de leite. A Figura 2.5 apresenta a distribuição percentual do leite cru destinado a vários produtos lácteos, confirmando que a maior parcela (37%) foi efetivamente alocada à produção de queijo.



Figura 2.5 - Distribuição percentual do leite cru processado para diferentes produtos lácteos (Bakalis *et al.*, 2020).

De acordo com os dados da FoodDrinkEurope (2024a), o queijo figurava, em 2023, entre os dez principais produtos de exportação na EU, com um valor de exportação de 7 726 milhões de euros.

No que concerne ao consumo, a média na UE para o ano de 2023 foi de 20,9 kg per capita, registrando um aumento de 1,1 kg per capita em relação a 2017 (Comissão Europeia, 2023). Este valor posiciona o queijo como um dos produtos mais consumidos do setor agroalimentar europeu. Este elevado nível de consumo evidencia não apenas a importância econômica do queijo, mas também realça a sua profunda relevância cultural e social em diversos Estados-Membros. Esta relevância, conseqüentemente,

reflete-se em políticas de proteção e valorização de produtos com Denominação de Origem Protegida (DOP) e Indicação Geográfica Protegida (IGP) (União Europeia, 2012).

### 2.1.2 Portugal

Para o caso específico de Portugal, segundo Nunes *et al.* (2025) a indústria alimentar apresentava, em 2016, um volume de negócios de 10,7 mil milhões de euros, o que representava 13,8% do total das vendas da indústria transformadora nacional. O mesmo estudo destaca o impacto significativo deste setor no mercado de trabalho, que empregava cerca de 20% da mão de obra da indústria manufatura e abrangia, aproximadamente 135 mil empresas, representando 14% do total de empresas no setor industrial.

No panorama, o setor dos laticínios assume uma presença significativa, contribuindo de forma expressiva para a economia nacional com um volume de negócios de 1,4 mil milhões de euros (Nunes *et al.*, 2025). Tal como na UE, o fabrico de queijo em Portugal tem como principal matéria-prima o leite de vaca (Costa, 2011).

Em Portugal, a produção de leite é relativamente modesta em comparação com outros países europeus, devido, em parte, à sua dimensão territorial e produtiva limitadas, Rodrigues *et al.* (2020). Contudo, a produção de queijo na Península Ibérica, e nomeadamente em Portugal, remonta à ocupação romana e preserva uma forte tradição no uso de leite cru no processo de fabrico do queijo. Esta prática confere aos queijos portugueses características únicas e distintas.

O gráfico da Figura 2.6 apresenta os principais produtores de leite de vaca na EU, em 2017, destacando a Alemanha, França, Polónia, Países Baixos e Itália como os maiores produtores. Nesse contexto Portugal registou uma produção de aproximadamente 1921 mil toneladas de leite.

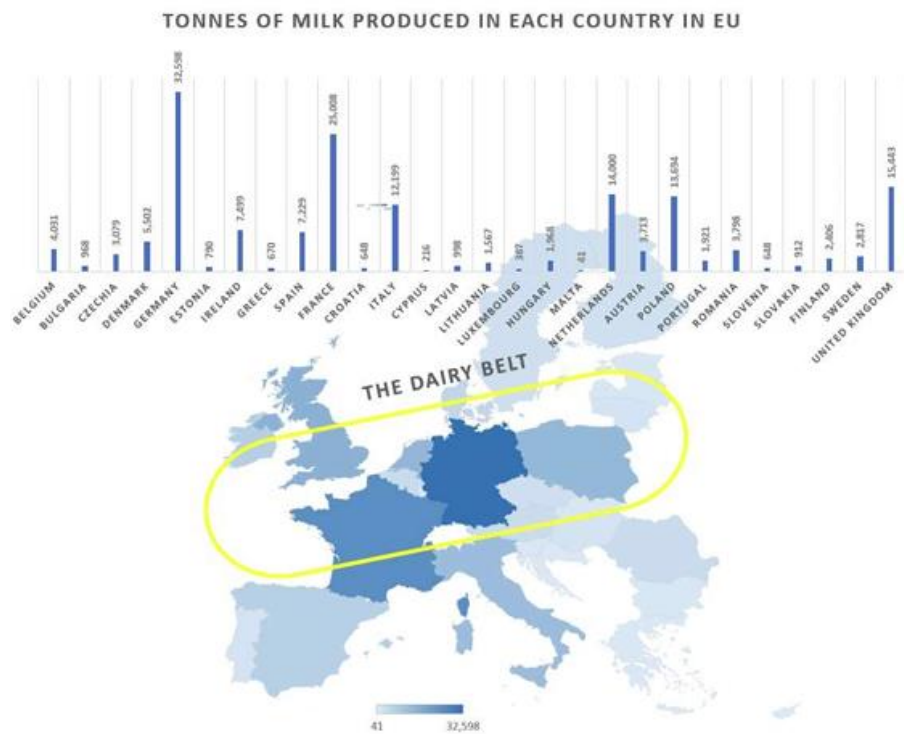


Figura 2.6 - Produção de leite cru de vaca em milhares de toneladas nos países da EU no ano de 2017 (Bakalis *et al.*, 2020).

A totalidade do leite produzido em território português será direcionada, prioritariamente, para a produção de produtos lácteos, sendo que, uma parcela significativa, especificamente 27% será destinada à produção de queijo. A maior parte do queijo produzido em Portugal é gerada a partir de leite de vaca (75%), seguida pelo leite de ovelha (14%), por uma mistura de leites (7%), normalmente de vaca e ovelha, e, por fim, pelo leite de cabra (4%) (Nunes *et al.*, 2025).

Em 2022 a indústria queijeira em Portugal apresentava um volume de negócios de 37%, relativamente à restante indústria de laticínios e, por sua vez dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2024) indicam que o consumo médio de queijo no país, no ano de 2024, foi, aproximadamente, 15 kg per capita, (Neves, 2024).

No entanto, a importância do setor queijeiro português não se limita à sua dimensão económica, mas também possui uma relevância social e territorial significativa. Uma vez que desempenha um papel fundamental na ocupação demográfica de zonas rurais e remotas, contribuindo para a criação de empregos e para fixação das populações em territórios do interior do país, muitas vezes marcados por fenómenos de despovoamento e envelhecimento (Alvarenga *et al.*, 2020).

## 2.2 Processos de fabrico do queijo

A indústria queijeira divide-se em duas áreas principais: a produção da matéria-prima (leite) e o processamento do leite para produção de queijo. No entanto, a presente

dissertação incidirá exclusivamente na segunda área, referente à produção de queijo, considerando que o processo tem início na recepção do leite na queijaria.

Atualmente, o processo de produção de queijo nas queijarias tradicionais portuguesas, embora com algumas variações, divide-se em várias etapas: recepção e pré-tratamento do leite, pasteurização, coagulação, moldagem e prensagem com drenagem do soro de leite, salga e maturação do queijo. A maturação é normalmente realizada em duas fases, a diferentes temperaturas e níveis de humidades. A Figura 2.7 esquematiza o processo de produção de queijo, incluindo as etapas anteriormente descritas.

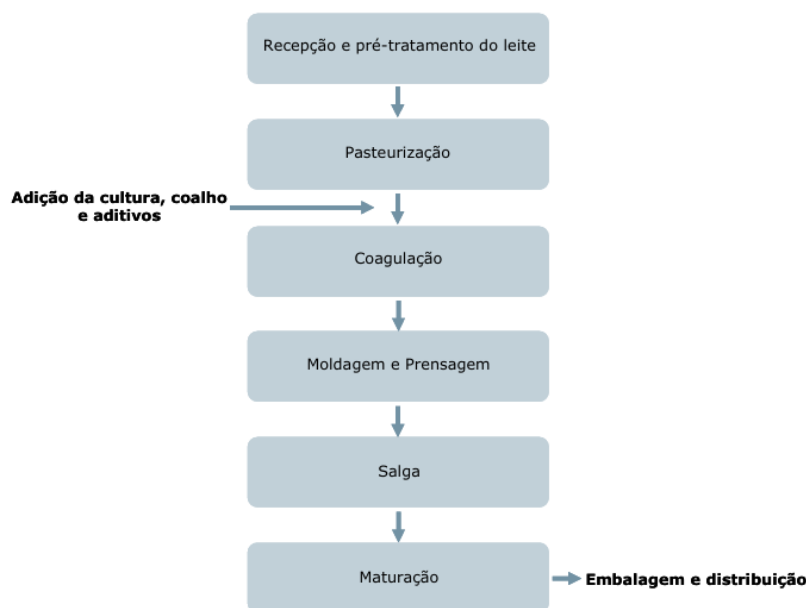


Figura 2.7 - Diagrama de blocos do processo de fabrico de queijo (Costa, 2011).

### 2.2.1 Recepção e pré-tratamento

O primeiro passo no fabrico de queijo é a recepção do leite cru. Segundo Costa (2011), após a chegada ao cais de recepção da fábrica, são retiradas amostras de leite para realização de uma série de testes laboratoriais, com o objetivo de avaliar a sua qualidade.

Após a recepção e a realização dos testes qualitativos, o leite é submetido a diversos processos de pré-tratamento. Destaca-se a filtração, que consiste na remoção de impurezas através da passagem do leite por filtros (Costa, 2011).

### 2.2.2 Pasteurização

A pasteurização é um tratamento térmico aplicado ao leite com o objetivo de prevenir riscos à saúde pública, com a eliminação de microrganismos patogênicos como *Mycobacterium tuberculosis*, *Salmonella spp.*, *E. coli*, *Campylobacter jejuni* e *Listeria monocytogenes*, que poderão estar presentes no leite, (Araújo *et al.* 2021). Ao longo do processo de pasteurização, o leite irá sofrer algumas alterações químicas, físicas, sensoriais e nutricionais, embora estas sejam mínimas.

O processo de pasteurização pode ser realizado de duas formas: por um longo período a baixa temperatura (LTLT – *Low Temperature, Long Time*), no qual o leite é geralmente aquecido a temperaturas entre 63 e 65°C e mantido a essa temperatura por 30 minutos, ou por um curto período a alta temperatura (HTST – *High Temperature, Short Time*), que atinge temperaturas entre 72 e 75°C por 15 a 20 segundos (Calvo, 2024).

De acordo com Araújo *et al.* (2021), a eficiência da pasteurização é determinada pela inativação da enzima fosfatase alcalina. Adicionalmente, o leite deve apresentar a lactoperoxidase ativa, uma vez que esta enzima é mais termorresistente que a fosfatase alcalina e, assegura que o leite não foi submetido a uma pasteurização excessiva.

Os mesmos autores indicam que, caso o leite não seja imediatamente submetido ao processo de pasteurização e necessite de armazenamento prévio, deve ser submetido a um processo de termização antes de ser armazenado a 4°C, valor este considerado ótimo para prevenir o desenvolvimento de bactérias. A termização é um tratamento térmico mais suave do que a pasteurização, no qual o leite é aquecido entre 63 e 65°C por 15 segundos ou entre 60 e 69°C por 20 segundos. Este procedimento visa reduzir consideravelmente os microrganismos psicrótróficos, os quais podem produzir lipases e proteases resistentes ao calor da pasteurização, comprometendo a qualidade do queijo.

### 2.2.3 Coagulação

Após a pasteurização, segue-se a coagulação, fase em que ao leite é adicionado um coagulante, que varia consoante o tipo de queijo a produzir (Bakalis *et al.*, 2019). De acordo com Dias *et al.* (2020), no caso específico dos queijos da região de Serpa, o coagulante utilizado é uma solução aquosa de flor de cardo (*Cynara cardunculus L.*). Este coagulante é preparado no dia anterior, com o auxílio de um liquidificador elétrico para triturar o coagulante, sendo posteriormente filtrado por meio de um pano de algodão fino (Rodrigues *et al.*, 2020).

Segundo Rodrigues *et al.* (2020), após a adição e mistura do coagulante, o leite fica em repouso por, aproximadamente, 1 hora, a uma temperatura de 30°C. Durante este intervalo, o coagulante provoca a aglomeração da proteína caseína, resultando na formação da coalhada.

Terminada a coagulação, procede-se ao corte da coalhada, que normalmente é um processo manual. Em seguida, realiza-se o processo de esgotamento, que consiste na drenagem do soro (Costa, 2011).

Por fim, a coalhada é aquecida com o auxílio de vapor ou água quente, para ajudar na formatação da textura e na regulação da acidez.

#### 2.2.4 Moldagem e prensagem

Após a coagulação, a coalhada é transferida para moldes perfurados, para facilitar a drenagem do soro e do ar. Em seguida, ocorre o processo de prensagem, que pode ser manual, resultando em uma drenagem contínua do soro e uma diminuição do volume da coalhada por cerca de 10 minutos, tornando-a mais compacta, ou mecânica, com o auxílio de prensas hidráulicas, para otimizar a drenagem do soro (Rodrigues *et al.*, 2020).

Posteriormente, a coalhada é retirada dos moldes e o queijo é limpo, de modo a remover resíduos de coalhada, sendo depois é colocado nos moldes. Finalmente, o queijo depois é virado várias vezes para drenar o soro remanescente.

#### 2.2.5 Salga

O processo de salga é de extrema importância, em que a quantidade de sal, bem como o estágio em que é adicionado, pode variar entre as fábricas. No entanto, este processo geralmente ocorre após a moldagem e prensagem do queijo (Rodrigues *et al.*, 2020).

A adição de sal tem como principal objetivo prevenir o crescimento microbiano e remover humidade por efeito osmótico.

Segundo Costa (2011), existem diferentes métodos de salga, no entanto, alguns métodos utilizados são: a submersão dos queijos em tanques de salmoura e a adição direta de sal por pulverização.

#### 2.2.6 Cura/Maturação

No caso da produção de queijo fresco, o processo de cura não é realizado, pelo que o produto resultante a partir dos processos descritos anteriormente estará pronto para ser embalado e comercializado (Bakalis *et al.*, 2019).

De acordo com Dias *et al.* (2020), para os restantes tipos de queijo, após adquirirem a sua forma definitiva, são retirados dos moldes e colocados na primeira câmara de cura, onde permanecem por 15 dias, no caso específico do queijo alentejano, no entanto o tempo de cura varia dependendo do tipo de queijo. Esta primeira câmara apresenta um ambiente com maior humidade e temperaturas baixas, a fim de controlar o crescimento microbiano e evitar a rápida secagem da superfície do queijo (Silvério *et al.*, 2025).

Após a cura na primeira câmara, os queijos são transferidos para uma segunda câmara, onde a temperatura é mais elevada e a humidade mais reduzida, para proporcionar a consolidação da casca e favorecer o desenvolvimento de outra flora microbiana (Dias *et al.*, 2020).

### 2.3 Consumos energéticos na produção de queijo

A produção de queijo constitui um dos processos mais intensivos em termos de consumo energético no setor da indústria alimentar (Ladha-Sabur *et al.* 2019). Tal facto deve-se à necessidade de disponibilizar elevadas quantidades de energia elétrica e/ou térmica para o funcionamento de diversos equipamentos ao longo do processo produtivo. A eletricidade é, tipicamente, empregue no acionamento de bombas, nos sistemas de refrigeração e de controlo, bem como na iluminação, enquanto o uso de energia térmica é, geralmente, aplicada nas etapas de pasteurização e de coagulação, com a utilização de energia proveniente de combustíveis fósseis (Calvo, 2024; Ladha-Sabur *et al.*, 2019).

A quantificação dos consumos energéticos associados ao fabrico de queijo acaba por ser uma tarefa complexa e heterogénea. Uma vez que, embora, em termos teóricos, o processo de produção de queijo, siga etapas semelhantes entre diferentes unidades fabris, conforme descrito anteriormente, existem pequenas variações de instalação para instalação. Segundo Xu *et al.* (2009) fatores como localização geográfica, a dimensão e a idade da unidade de produção influenciam significativamente o consumo energético. Adicionalmente, o tipo de queijo produzido constitui um fator determinante, uma vez que implica condições distintas no processo de produção, como diferentes temperaturas, tempos de cozedura, tempo de maturação, entre outras variações.

Em consonância, Nunes *et al.* (2015) salientam que o consumo energético acaba por variar substancialmente de instalação para instalação, existindo uma disparidade mais acentuada quando se comparam indústrias de produção industrial com unidades de manufatura artesanal.

No estudo de Nunes *et al.* (2015), esta disparidade nos valores de consumo energético entre diferentes instalações pode ser verificado na Tabela 2.1, que apresenta um resumo dos resultados obtidos a partir da análise de 31 unidades de produção de queijo do interior de Portugal, sendo que estes valores referenciam apenas o consumo elétrico nas instalações.

Tabela 2.1 - Resumo dos valores de consumo elétrico em diferentes instalações no interior de Portugal (Nunes *et al.*, 2015).

	Plants	Raw Material (kl)	Electrical energy Consumption (kWh)	Total Volume of Cooling Chambers (m3)	Total energy Consumption (toe)
Industrial Manufacturing Industries	Plant 1	2664.5	672.6	3244.0	222.0
	Plant 2	874.6	210.8	751.5	78.5
	Plant 3	1354.2	280.0	1288.4	79.9
	Plant 4	2020.0	488.2	1962.0	194.7
	Plant 5	2100.3	610.8	2332.0	259.0
	Plant 6	813.3	430.6	1913.6	119.3
	Plant 7	580.4	289.6	1168.7	101.3
	Plant 8	11037.0	1406.8	3229.5	608.6
	Plant 9	545.9	177.6	868.9	57.3
	Plant 10	16910.5	2218.0	4991.7	794.8
	Plant 11	503.2	134.5	426.6	45.4
	Plant 12	1376.1	505.9	2052.0	180.1
	Plant 13	2916.7	574.1	3278.0	198.0
Handmade Industries	Plant 14	244.3	72.2	531.4	18.9
	Plant 15	587.5	46.1	210.0	16.3
	Plant 16	445.5	60.1	136.4	19.4
	Plant 17	1378.2	187.8	1321.5	89.9
	Plant 18	513.6	81.2	465.5	30.9
	Plant 19	84.4	17.4	94.0	5.1
	Plant 20	187.6	51.7	112.5	18.7
	Plant 21	141.3	18.0	125.3	5.6
	Plant 22	549.9	40.1	233.3	12.9
	Plant 23	254.9	30.6	205.3	12.2
	Plant 24	89.0	21.5	135.0	4.6
	Plant 25	753.5	78.8	417.6	23.6
	Plant 26	329.2	67.3	307.0	28.5
	Plant 27	355.9	54.9	214.1	18.1
	Plant 28	678.8	84.9	299.9	41.9
	Plant 29	106.5	10.8	144.0	3.27
	Plant 30	1794.8	204.3	1575.6	81.9
	Plant 31	2723.9	232.7	949.0	90.2

Já Xu *et al.* (2009) afirmam que, no contexto europeu, os valores de consumo energético específico (SEC) em unidades de produção de queijo variaram de 2,1 a 68, 2 MJ/kg de queijo, comprovando assim essa disparidade de valores entre instalações.

No mesmo estudo, Xu *et al.* (2009) exibem a repartição média da energia consumida em unidades de produção de queijo localizadas nos Países Baixos. Conforme ilustrado na Tabela 2.2, os processos de pasteurização, coagulação e cura, considerados os mais energeticamente exigentes, variam entre 17-26%, 7-14% e 12-32%, respetivamente.

Tabela 2.2 - Repartição média da energia consumida nas diversas etapas do fabrico do queijo (Xu *et al.*, 2009).

Ranges in share of total primary energy use		Percentage of cheese-making primary SEC value		
		Low	Ave	High
Milk reception	Reception/thermization	8%	9%	10%
Milk treatment	Standardization <sup>a</sup>	1%	n/a	4%
	Pasteurization <sup>a</sup>	17%	n/a	26%
Cheese-making	Cheese processing	7%	n/a	14%
	Cheese treatment/storage	12%	n/a	32%
Supporting processes	Pressurized air	2%	2%	3%
	CIP	8%	9%	10%
	Cooling/refrigeration	8%	9%	10%
Total cheese-making	Other <sup>a</sup>	6%	n/a	22%
	Primary SEC <sub>prim</sub> 4.3 MJ/kg in 1998	-	100%	-
	Primary SEC <sub>prim</sub> 3.9 MJ/kg in 2002	-	100%	-
Postcheese-making, i.e., additional to cheese-making SEC	Cheese ripening/storage <sup>a</sup>	9%	32%	65%
	Whey processing 1998	n/a	55%	n/a
	Whey processing 2002	n/a	43%	n/a

Com o intuito de perceber um pouco melhor esta diferença de consumos entre diferentes instalações realizou-se uma tabela resumo (Tabela 2.3) com os valores apresentados em diversos estudos sobre o tema.

Tabela 2.3 - Tabela resumo dos consumos energéticos na produção de queijo de várias referências.

Referência	País	Consumo Elétrico (MJ/kg <sub>produto</sub> )	Consumo Combustível (MJ/kg <sub>produto</sub> )	Consumo Energético Total (MJ/kg <sub>produto</sub> )	Emissões de CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /kg <sub>produto</sub> )
Ladha-Sabur <i>et al.</i> (2019)		1,1	3,94	5,04 (média artigos)	
				13,85 (SEC data)	
van Middelaar <i>et al.</i> (2011)	Países Baixos			10,47	0,59
Gosalvitr <i>et al.</i> (2019)	Reino Unido	0,82	1,38	2,2	0,12
Xu <i>et al.</i> (2009)	EUA			8,4-9,6 (média)	
	Países Baixos			4,9 (média)	
Berlin J. (2002)	Suécia	1,3	5,4	6,7	0,4
Riva <i>et al.</i> (2018)	Itália			19,93	1,33
Nunes <i>et al.</i> (2015)	Portugal (industrial)	10,19 (0,283 kWh/L <sub>RM</sub> )	6,24 (0,173 kWh/L <sub>RM</sub> )	16,43	
	Portugal (artesanal)	5,47 (0,152 kWh/L <sub>RM</sub> )	3,15 (0,087 kWh/L <sub>RM</sub> )	8,62	
Andrade <i>et al.</i> (2014)	Portugal (industrial)	9,68 (0,269 kWh/L <sub>RM</sub> )	5,45 (0,151 kWh/L <sub>RM</sub> )	15,13	
	Portugal (artesanal)	6,19 (0,172 kWh/L <sub>RM</sub> )	3,48 (0,097 kWh/L <sub>RM</sub> )	9,67	

Através da análise da Tabela 2.3 e, assumindo que para a produção de 1 kg de queijo requer aproximadamente 10 litros de leite (Emmons *et al.*, 1990), pode-se observar que existe uma grande disparidade entre os valores de consumo energético para a produção de queijo reportados nos diferentes estudos analisados, variando entre um mínimo de 2,2 MJ/kg de queijo e um máximo de 19,93 MJ/kg de queijo. Relativamente aos estudos sobre a produção de queijo em Portugal, ao comparar os resultados destes estudos com os valores de consumo energético total apresentados na literatura internacional, verifica-se que, para o caso das unidades artesanais, os consumos são consideravelmente superiores ao mínimo verificado de 2,2 MJ/kg de queijo, aproximando-se dos valores apresentados por Xu *et al.* (2009), para a produção nos Estados Unidos da América, mas ainda distantes do valor máximo identificado, correspondendo aproximadamente à metade deste. Por outro lado, nas unidades industriais, os consumos energéticos são superiores aos das unidades artesanais, situando-se próximos dos valores observados para instalações de maior intensidade energética e bastante próximos do valor máximo de 19,93 MJ/kg de queijo.

## 2.4 Transição energética na indústria queijeira

A indústria queijeira, como parte do setor agroalimentar, possui um consumo energético significativo, particularmente associado a processos como a pasteurização, coagulação e maturação, conforme referido anteriormente, e, estes consumos, tanto em contexto nacional como internacional, contribuem de forma relevante para as emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Neste enquadramento, a transição energética na indústria queijeira invoca especial importância, não apenas pelo seu impacto ambiental, mas também pelo potencial de melhoria da eficiência energética e da sustentabilidade dos processos produtivos.

A necessidade de integração de fontes de energia renovável no setor queijeiro, para fornecimento da energia necessária aos equipamentos responsáveis pelos diferentes processos produtivos, é amplificada pela crescente pressão regulatória e pelas metas estabelecidas pela UE e, conseqüentemente, pelo Governo Português, em relação à descarbonização e a neutralidade carbónica (Cardoso, 2017).

Relativamente ao âmbito europeu, a Diretiva (UE) 2023/2413, também designada de RED III (*Renewable Energy Directive*), estabelece metas para o aumento da quota de energia proveniente de fontes renováveis até 2030, reforçando a obrigação por parte dos Estados-Membros de implementarem políticas que visam incentivar a eficiência energética e a utilização de energias renováveis em todos os setores económicos. Entre as implicações práticas, prevê-se, por exemplo, a possibilidade de aparecer nos rótulos dos produtos que estes foram produzidos com recurso a energia proveniente de fontes renováveis (União Europeia, 2023). Paralelamente, o Regulamento (UE) 2018/1999

pretende reforçar a monitorização e o planeamento integrado das políticas energéticas e climáticas (União Europeia, 2018).

Em Portugal, e em alinhamento com o Acordo de Paris, o Governo Português assumiu o compromisso de alcançar a neutralidade carbónica até 2050, elaborando o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050). Este documento tem como objetivo explorar a viabilidade de trajetórias que conduzam a essa neutralidade carbónica nos diversos setores da economia, como a energia e a indústria, e, planejar, posteriormente, uma estratégia com fim a esse objetivo (Portugal. Presidência do Conselho de Ministros, 2019). Além disso, com o objetivo de promover o uso de energias renováveis, de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e diminuir as emissões de gases com efeito de estufa, o Decreto-Lei n.º 84/2022 estabelece que, em 2030, 49% do consumo final bruto de energia deverá ser proveniente de fontes renováveis (Portugal. Presidência do Conselho de Ministros, 2022).

Complementarmente, o Decreto-Lei n.º 99/2024 introduz alterações significativas ao quadro regulatório das energias renováveis, com o intuito de simplificar os processos de licenciamento, incentivar o investimento em tecnologias de energia renovável e promover a produção descentralizada de energia (Portugal. Presidência do Conselho de Ministros, 2024).

Com o objetivo de apoiar a transição energética e viabilizar o cumprimento das metas definidas, o Estado Português tem desenvolvido diversos programas de apoio financeiro e técnico, direcionados ao setor industrial, onde se insere a indústria queijeira. Um dos principais programas é o Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), que disponibiliza financiamento para projetos alinhados com as metas climáticas e de eficiência energética definidas pela UE e por Portugal (Portugal. Ministério da Economia e do Mar, 2021).

No entanto, e, conforme ilustrado na Figura 2.8, o setor queijeiro português caracteriza-se pela predominância de unidades de produção localizadas em zonas rurais e remotas (Alvarenga *et al.*, 2020). Esta localização geográfica das unidades produtoras implica, na maioria dos casos, uma elevada dependência de fontes energéticas tradicionais, nomeadamente combustíveis fósseis, ou então à aquisição de energia elétrica a preços superiores, associados aos custos de transporte e distribuição, resultando no aumento do custo operacional do queijo e comprometendo a competitividade destas unidades produtoras.

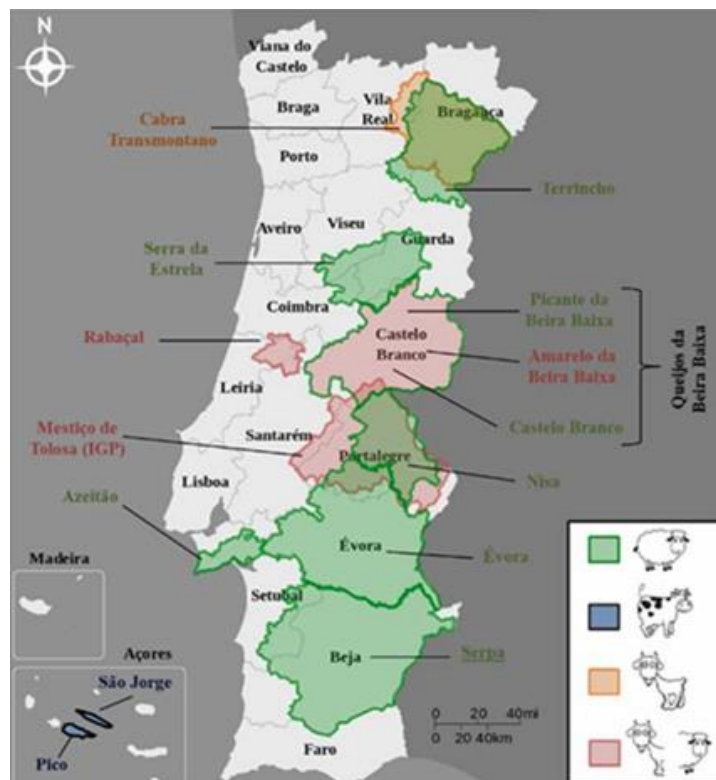


Figura 2.8 - Distribuição geográfica dos queijos tradicionais portugueses protegidos (DOP e IGP) (Alvarenga et al., 2020).

Nesse contexto, a transição energética surge não apenas como uma necessidade às exigências ambientais e reguladoras, mas também como uma oportunidade estratégica para garantir a viabilidade económica e a sustentabilidade da indústria queijeira em Portugal. Logo, como evidenciado por Shi *et al.* (2024), a integração de tecnologias de produção de energia renovável no local, como a energia solar, eólica ou proveniente da biomassa, pode diminuir os custos energéticos e, ao mesmo tempo reduzir a pegada carbónica associada à produção de queijo.

Adicionalmente, e conforme referenciado por Alvarenga *et al.* (2020), a implementação de soluções energéticas descentralizadas e autossuficientes pode também promover o desenvolvimento socioeconómico da região, através da criação de emprego e da fixação de populações em zonas rurais, enquanto reduz a dependência da rede eléctrica nacional e minimiza os riscos associados a falhas de abastecimento (Shi *et al.*, 2024).

#### 2.4.1 Panorama atual

No panorama atual, existe um esforço crescente no sentido de identificar e implementar soluções que permitam a integração de energias renováveis na indústria queijeira. Este esforço reflete uma mudança gradual na orientação estratégica do setor, que visa assegurar o cumprimento das exigências ambientais em vigor, mas também a promoção de uma evolução contínua, eficiente e sustentável, associada à redução de custos energéticos.

Segundo Solanki *et al.* (2021), considerando os impactos biológicos e sociais, a geração de energia proveniente da radiação solar e do vento é descrita como uma das soluções mais adequadas para uma implementação sustentável global.

Atualmente, a energia solar é amplamente utilizada, tanto em contextos habitacionais quanto industriais, sendo utilizada para colmatar parte das necessidades energéticas dos estabelecimentos. A facilidade de implementação das tecnologias de produção de energia solar é um fator determinante para a sua adoção global, permitindo a produção de energia diretamente no local de consumo.

Tendo em conta estas características, Solanki *et al.* (2021) acreditam que a energia solar surge como uma oportunidade estratégica para a indústria de produção de queijo, devido à sua aplicabilidade em diversas áreas da indústria, tanto em aspetos gerais (como a iluminação e a climatização das instalações) quanto em processos específicos da produção, nomeadamente em processos de aquecimento (pasteurização) e refrigeração (cura do queijo). Os processos de aquecimento e refrigeração desempenham um papel crucial na qualidade e segurança alimentar dos produtos, representando, segundo os mesmos autores, cerca de um terço do consumo total de energia na indústria.

Em Portugal, já existem casos específicos da utilização de painéis solares fotovoltaicos por algumas unidades queijeiras, com o objetivo de suprir parcialmente as necessidades energéticas do fabrico do queijo. Um exemplo disto é a Queijaria Lactoceiro, que, através de um financiamento coletivo obtido no âmbito do programa GoParity, conseguiu instalar uma central fotovoltaica para autoconsumo no terreno da unidade produtora, composta por 253 painéis fotovoltaicos de 555 W cada (GoParity, 2023).

No entanto, atualmente, começa-se também a estudar a possibilidade da utilização de energias renováveis de forma direta em processos específicos da produção de queijo. Esta abordagem contrasta com outras, mais convencionais, tal como a descrita anteriormente, que recorrem à energia solar apenas para colmatar parcialmente as necessidades elétricas gerais da queijaria.

Vários autores têm investigado a utilização de coletores solares para geração de energia solar térmica. O objetivo é aquecer um fluido solar (provavelmente água) que, por sua vez, aquecerá o leite a temperaturas entre 60 a 80°C durante o processo de pasteurização, com o objetivo de eliminar a dependência de combustíveis fósseis. Esta investigação é relevante uma vez que, atualmente, nas queijarias, a pasteurização do leite requer predominantemente o uso de caldeiras ou permutadores de calor que operam com combustíveis fósseis (Panchal *et al.*, 2018).

Panchal *et al.* (2018) publicaram um artigo de revisão no qual sintetizam e analisam diversos trabalhos de pesquisa sobre a aplicação de energia solar térmica no processo de pasteurização do leite.

Um dos trabalhos por eles analisados pesquisou a viabilidade técnica e económica da aplicação de energia solar no processo de pasteurização do leite, através da utilização um permutador de calor convencional. A Figura 2.9 ilustra o esquema do sistema de pasteurização proposto no estudo, onde o permutador de calor promove a transferência de energia térmica do fluido solar para a água, sendo esta depois utilizada para aquecer o leite.

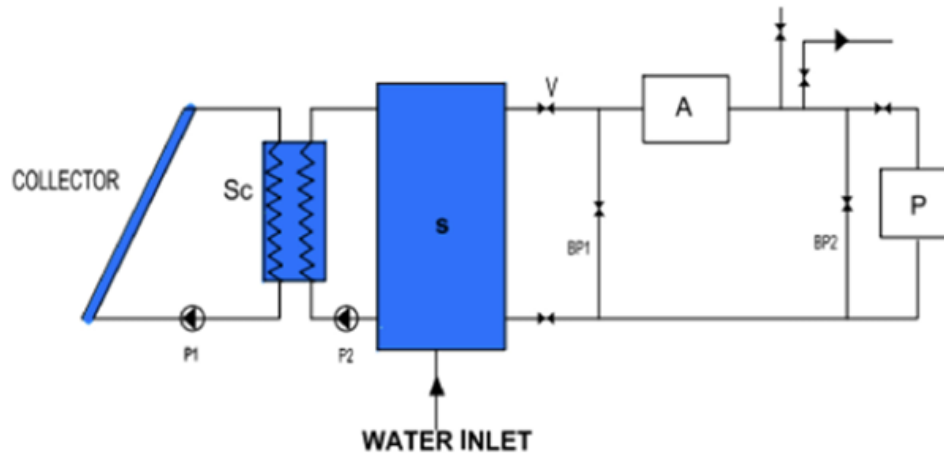


Figura 2.9 - Esquema do sistema de pasteurização do estudo, utilizado para fins de simulação (Panchal *et al.*, 2018).

Com base no estudo do esquema apresentado na Figura 2.9, os investigadores realizaram testes diários para avaliar a influência da radiação solar no sistema, bem como outros fatores relevantes. Através deste trabalho de simulação, concluíram que, para um volume de produção de 100.000 litros de leite por dia, seria possível alcançar um retorno económico após 10 a 11 anos, com a utilização de coletores de placa plana. Além disso, o gráfico da Figura 2.10 mostra a temperatura do leite ao longo do tempo (em minutos), evidenciando que o sistema de pasteurização aquecido por energia solar proposto consegue atingir 80°C após 200 minutos. Este resultado comprova que o sistema é capaz de atingir as temperaturas de pasteurização recomendadas, essenciais para eliminar as bactérias patogênicas presentes no leite cru, garantindo, assim, a segurança alimentar do queijo.

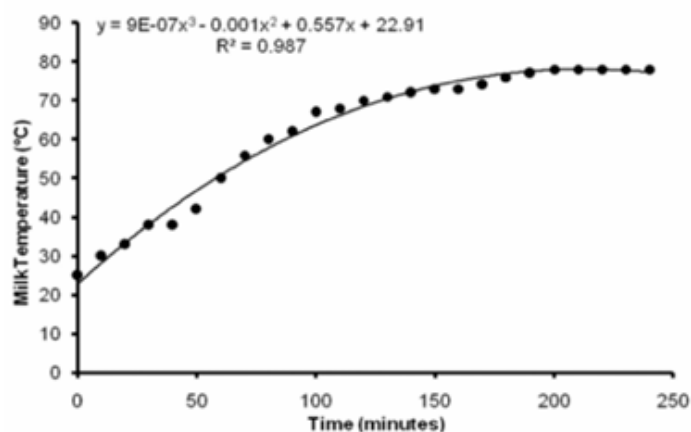


Figura 2.10 - Temperatura do leite em função do tempo para o sistema de pasteurização do estudo (Panchal *et al.*, 2018).

Num outro estudo mencionado por Panchal *et al.* (2018), realizaram-se diversos testes experimentais com base nas condições climáticas do Quênia, utilizando um coletor solar de placas planas para aquecimento de água, acoplado a um tanque de pasteurização de aço inoxidável, com 1,5 milímetros de espessura e isolamento por uma camada de água quente de 50 milímetros de largura, com capacidade de 80 litros. Os resultados mostraram que, para aquecer 40 litros de leite e com uma radiação solar entre 700 e 1000 W/m<sup>2</sup>, era necessário um tempo de 1,3 ± 0,5 horas para atingir a temperatura de pasteurização.

Outro artigo de revisão, publicado por Dabhi *et al.* (2024), analisa também, diversos estudos realizados no âmbito da utilização de energia solar térmica no processo de pasteurização do leite. Porém, este artigo aborda a aplicação de diferentes tipologias de coletores solares, dependendo do tipo de processo de pasteurização adotado.

Segundo Dabhi *et al.* (2024), os coletores solares planos (FPC) e os coletores solares de tubo a vácuo (ETC) foram, normalmente, utilizados nos processos de pasteurização LTLT e HTST até 85°C. Já os coletores solares de concentração, como o PTC (*Parabolic Trough Collector*), o disco de *Scheffler* e o LFC (*Linear Fresnel Collector*), foram utilizados em processos de pasteurização HHST (High Heat Short Time) e UHT (Ultra High Temperature), bem como em outras aplicações de alta temperatura, como a esterilização. Além disso, os FPC e ETC eram utilizados em indústrias situadas em países com clima tropical, enquanto os coletores de concentração eram mais frequentes em indústrias de países com climas frios e temperados.

De acordo com Dabhi *et al.* (2024), a utilização de energia proveniente da radiação solar no processo de pasteurização poderá representar uma solução de baixo custo para unidades queijeiras situadas em regiões remotas, uma vez que não é necessário o uso de eletricidade, caldeiras ou aquecedores, o que torna o processo mais acessível e sustentável.

Embora a utilização de energia solar em processos específicos da produção de queijo tenha sido objeto de estudo em diversos trabalhos de investigação, não existem, até ao momento, casos documentados da aplicação prática desta tecnologia nas indústrias queijeiras, em Portugal.

Para além da utilização da energia solar, cuja implementação na indústria de produção de queijo tem demonstrado resultados promissores, a presente dissertação procurará estudar a utilização de outras fontes de energia renovável no processo de fabrico do queijo, com especial ênfase no processo de cura. Tal abordagem justifica-se pelo fato de existirem diversos estudos que analisam a incorporação de tecnologias renováveis em câmaras frigoríficas destinadas à refrigeração de diferentes produtos alimentares, todos apontando para resultados positivos e, conseqüentemente, evidenciando elevado potencial para aplicação no setor queijeiro.



### 3 Caso de estudo

A presente dissertação concentrar-se-á nas principais etapas do processo da produção de queijo, correspondentes às etapas com maior consumo energético, tanto elétrico como térmico, como é o caso da pasteurização, da coagulação e da cura do queijo (Xu *et al.*, 2009; Ladha-Sabur *et al.*, 2019). Considerou-se que as restantes etapas do processo de produção de queijo são realizadas manualmente, não requerendo, por isso, recursos energéticos significativos.

A presente dissertação propõe o desenvolvimento de uma aplicação informática para um sistema integrado de energias renováveis destinado à produção e conservação de queijo. Esta aplicação tem como objetivo avaliar em tempo real as necessidades energéticas do processo de fabrico, selecionando, dentre as fontes de energia renovável disponíveis aquela que melhor satisfaçam essas necessidades. Desta forma, pretende-se analisar a viabilidade da substituição parcial ou total do uso de combustíveis fósseis e da energia elétrica proveniente da rede nacional por soluções baseadas em energias renováveis em unidades queijeiras. Para sustentar esta investigação, o caso de estudo adotado será o sistema desenvolvido no âmbito do projeto CASEUS (“Combined use of renewAble energy sources to improve energy efficiency in cheeSE indUstry”), cujo objetivo é promover a transição energética em queijarias tradicionais, através da incorporação de tecnologias renováveis e da melhoria da eficiência energética. Este projeto é financiado pela UE e pela República Portuguesa, estando inserido no âmbito do PRR.

No sistema desenvolvido no âmbito do projeto CASEUS definiu-se que a energia solar seria uma das principais fontes de energia renovável a integrar tanto para a satisfação das necessidades elétricas como para as necessidades térmicas do processo. Esta escolha justifica-se pelo facto de já existirem várias evidências da viabilidade da utilização da energia solar na indústria de produção de queijo (Solanki *et al.*, 2021; Panchal *et al.*, 2018; Dabhi *et al.*, 2024; Maserà *et al.*, 2023) e, uma vez que o clima português é altamente favorável à produção de energia solar (Simões *et al.*, 2023; Solargis, 2021). Adicionalmente, considerando que Portugal, particularmente na região litoral, dispõe de condições muito favoráveis à exploração de energia proveniente do

vento (Simões *et al.*, 2023; Archer *et al.*, 2005), propôs-se também a incorporação de energia eólica no sistema. Por último, pretende-se ainda explorar a aplicação da biomassa, nomeadamente através do aproveitamento de caroços de azeitona e pellets, resultantes de resíduos de outras indústrias. Esta opção é especialmente revelante dado que diversas indústrias de produção de queijo se encontram localizadas em zonas próximas de explorações agrícolas e unidades de transformação agroalimentar as quais geram elevadas quantidades de resíduos passíveis de valorização energética (Simões *et al.*, 2023; Gouveia, 2023).

A Figura 3.1 apresenta o esquema do sistema integrado de energias renováveis para a produção e conservação de queijo, desenvolvido no âmbito do projeto CASEUS, o qual servirá de base à aplicação informática a ser desenvolvido na presente dissertação.

Conforme ilustrado na Figura 3.1, no processo de pasteurização (etapa situada ao centro do esquema), de modo a colmatar as necessidades energéticas deste processo existirá a utilização de um permutador de calor acoplado à unidade de condensação do sistema, com o objetivo de reaproveitar o calor resultante do processo de compressão. Este reaproveitamento ocorre através da troca de calor entre o fluido frigorigéneo que, subsequentemente, é utilizado para aquecer o leite. Para além disso, indispensável que o leite atinja a temperatura específica de 63°C de forma a assegurar a eliminação de microrganismos patogênicos e prevenir riscos de saúde pública, torna-se necessária a integração de uma caldeira alimentada a pellets e caroços de azeitona para suprir a totalidade das necessidades energéticas associadas a esta etapa do processo.

Relativamente ao processo de coagulação (etapa situada à esquerda no esquema), a principal fonte de energia para alcançar e manter a temperatura do leite a 32°C será a energia solar térmica, implementada através de dois coletores solares instalados no exterior da unidade de produção. Uma vez que esta etapa requer uma quantidade significativamente inferior de energia térmica em comparação com a pasteurização e pela existência de diversos estudos que comprovam a eficácia da utilização de coletores solares para suprir as necessidades energéticas do processo da pasteurização, optou-se por recorrer exclusivamente à energia solar térmica na coagulação, não se justificar, neste caso, a implementação de um sistema backup energético.

Por último, para atender às necessidades elétricas gerais do sistema e em particular durante o processo de cura (etapa situada à direita no esquema), no qual é requerida energia elétrica para o controlo da temperatura e da humidade no interior da câmara, prevê-se a utilização de uma combinação de dez painéis solares fotovoltaicos e uma turbina eólica para geração de energia elétrica. A energia gerada será armazenada numa bateria, que garante o seu fornecimento contínuo de acordo com as necessidades energéticas do sistema. Contudo, caso a produção renovável não seja suficiente para assegurar a autonomia total, admite-se a possibilidade de recurso à eletricidade proveniente da rede nacional.

Para além disso, no interior da câmara de cura foram ainda integrados materiais de mudança de fase PCM's (*Phase Change Materials*), devido à sua elevada capacidade de armazenamento de calor latente. Durante as transições de fase, estes materiais absorvem e libertam energia térmica, funcionando como um amortecedor térmico passivo (Zalba *et al.*, 2003). Desta forma, contribuem para a estabilização da temperatura no interior da câmara, reduzindo a sobrecarga sobre o compressor e, conseqüentemente, diminuindo as necessidades energéticas globais do sistema.

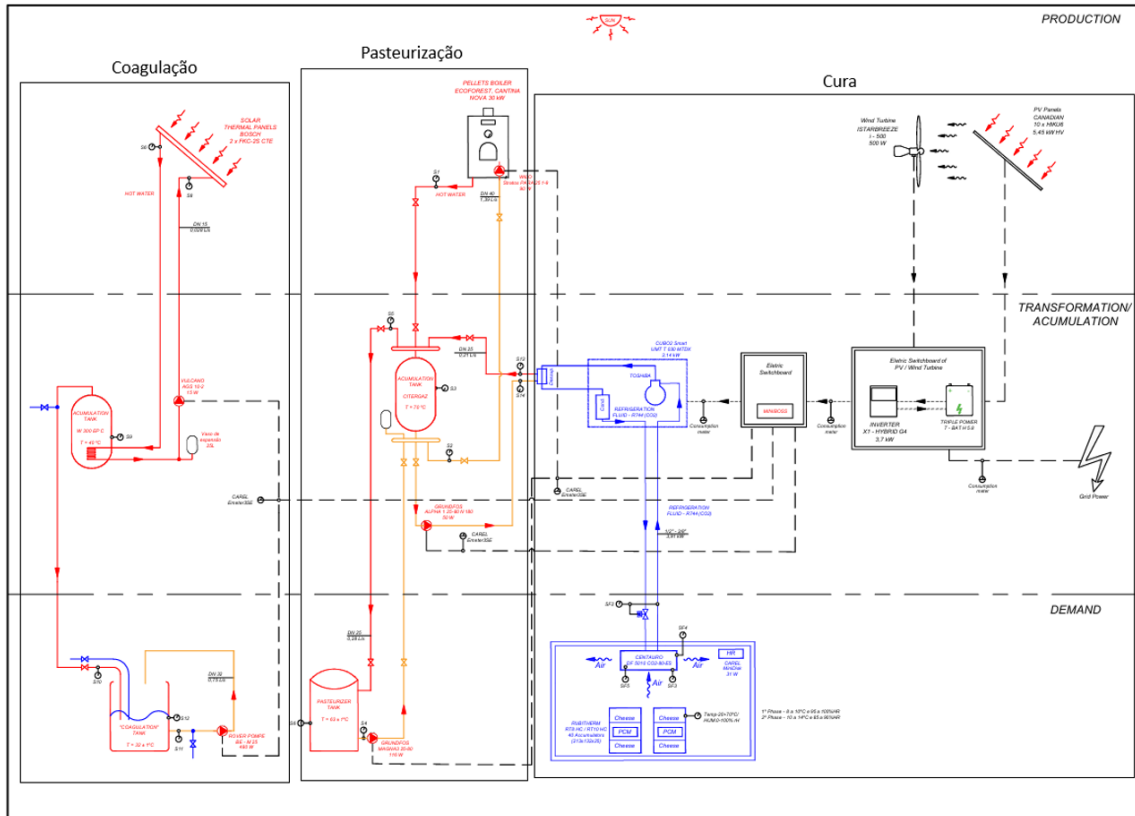


Figura 3.1 - Esquema do sistema integrado de energias renováveis para produção e conservação do queijo [extraído do projeto CASEUS].

Tendo em conta que o sistema a analisar na presente dissertação se baseia no protótipo desenvolvido no âmbito do projeto CASEUS e se pretende, posteriormente, comparar os resultados obtidos através da aplicação informática desenvolvida com os valores reais medidos no protótipo, considerou-se que os equipamentos utilizados no caso de estudo serão os mesmos instalados no protótipo presente no Instituto Politécnico de Beja (IPB).

Adicionalmente, definiu-se que o funcionamento do sistema seria estudado ao longo de vários dias, de modo a obter um conhecimento mais aprofundado do desempenho real de uma unidade queijeira caso este sistema venha a ser implementado em contexto industrial. Assim, estabeleceu-se como período de análise o intervalo de uma semana, sendo as simulações realizadas com iterações horárias, dado que este é o menor intervalo temporal para o qual existem dados disponíveis tanto de produção energética como de consumo.

Desta forma, todos os dados referentes aos equipamentos de produção e aos consumos energéticos foram obtidos ao longo de uma semana, com registos efetuados em intervalos horários.

### 3.1 Painéis solares fotovoltaicos

Os painéis solares fotovoltaicos são constituídos por células fotovoltaicas, geralmente fabricadas em silício, um material semicondutor que, quando exposto à radiação solar, absorve parte da energia transportadas pelos fotões (Semedo, 2023).

De acordo com Semedo (2023) a conversão da energia proveniente da radiação solar em energia elétrica denomina-se efeito fotovoltaico. Este fenómeno ocorre quando a energia dos fotões é suficiente para quebrar a ligação dos eletrões presentes nos átomos do silício. A libertação desses eletrões gera uma corrente elétrica, dado que estes tendem a deslocar-se de uma camada para outra da célula fotovoltaica (do semicondutor do tipo “n” para uma de tipo “p”).

Como referido previamente, os equipamentos responsáveis à produção de energia elétrica do sistema da Figura 3.1, destinados a suprir as necessidades energéticas da câmara de cura, consistem numa configuração de painéis solares fotovoltaicos e por uma turbina eólica. No caso da produção de energia elétrica solar, o sistema possui uma fileira de dez painéis fotovoltaicos instalados na cobertura do edifício. Os módulos fotovoltaicos utilizados são do modelo HiKu6 Mono PERC 545MS, apresentando uma área de 2,564 m<sup>2</sup>, cada um com uma potência de pico de 550 W<sub>p</sub> e uma eficiência de 21,3%.

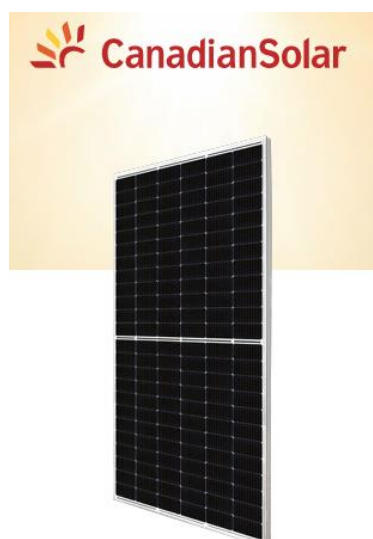


Figura 3.2 - Painéis Solares Fotovoltaicos HiKu6 Mono PERC 545MS.

Após a seleção e a configuração do sistema de painéis fotovoltaicos, a determinação da energia elétrica produzida por esta unidade de produção para autoconsumo,  $E_{PV}$ , pode ser efetuada a partir da equação (3.1) (Oliveira, 2022):

$$E_{Solar} = I_R \cdot N_P \cdot A_P \cdot \eta_P \quad (3.1)$$

Onde:

- $E_{Solar}$  - Potência solar [Wh];
- $I_R$  - Radiação solar incidente [Wh/m<sup>2</sup>];
- $N_P$  - Número de painéis solares;
- $A_P$  - Área útil do módulo [m<sup>2</sup>];
- $\eta_P$  - Eficiência do módulo.

Para obter os dados referentes à radiação solar incidente, recorreu-se ao sistema de informação geográfico fotovoltaico da Comissão Europeia (Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação, 2024a). Neste sistema, para a recolha dos dados de radiação numa base horária, foi necessário especificar a localização da unidade de painéis fotovoltaicos, seleccionar o banco de dados a utilizar, podendo-se escolher entre PVGIS-SARAH3 ou PVGIS-ERA5, definir o ano dos dados de radiação solar disponíveis, que abrangem o período de 2005 a 2023 e, por fim deve-se indicar a inclinação, o azimute e o tipo de montagem dos painéis.

Relativamente ao banco de dados optou-se pela escolha do PVGIS-SARAH3, uma vez que segundo o mapa da Figura 3.3 para o caso de Portugal deve ser considerada esta base de dados.



Figura 3.3 - Cobertura dos bancos de dados do PVGIS-SARAH3 e PVGIS-ERA5 (Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação, 2024b).

Por último, para o ano dos dados de radiação solar, considerou-se o ano mais recente disponível no programa, ou seja, 2023. Para a extração dos dados, assumiu-se que os painéis estarão fixos e, utilizou-se a função do programa destinada à otimização da inclinação e do azimute dos painéis. Todas estas decisões encontram-se ilustradas na Figura 3.4, que apresenta o sistema de informação geográfico fotovoltaico.

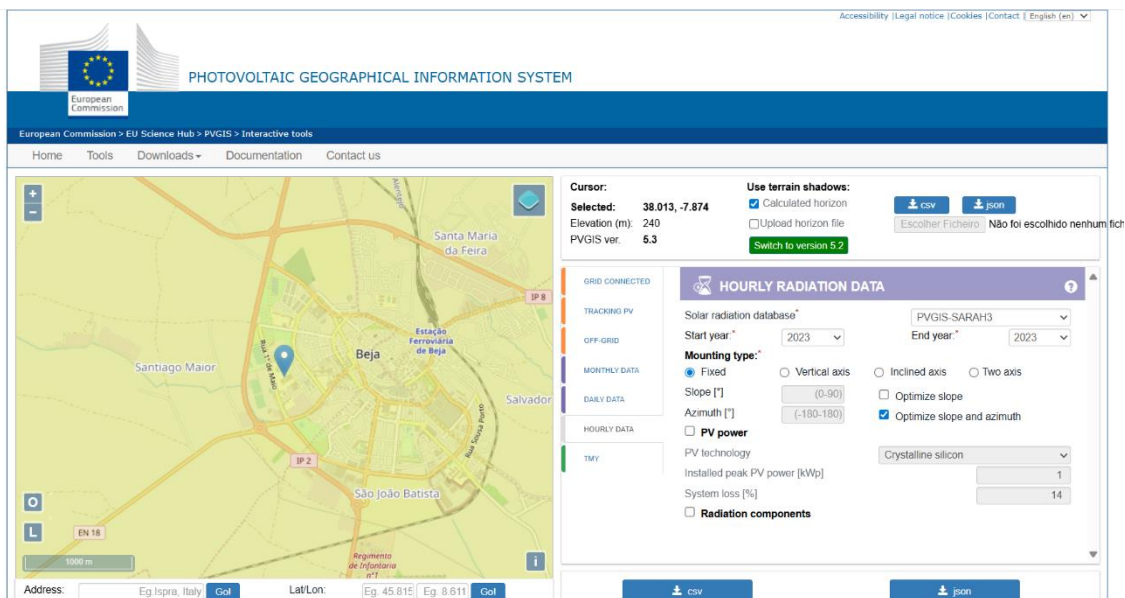


Figura 3.4 - Sistema de informação geográfico fotovoltaico da Comissão Europeia (Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação, 2024a).

## 3.2 Turbina eólica

Segundo Semedo (2023) a produção de energia eólica ocorre através da captação de energia cinética do vento pelas pás de uma turbina. Quando atingidas pelo vento, estas são impulsionadas a girar em torno de um eixo de rotação, devido às forças aerodinâmicas de arrasto e de sustentação exercidas pelo escoamento do ar. O movimento rotativo das pás é transmitido ao rotor, que também irá girar sob um eixo de rotação, transmitindo o movimento à caixa multiplicadora, aumentando a velocidade de rotação. Finalmente, esta energia mecânica resultante é transmitida ao gerador, onde irá ocorrer a conversão em energia elétrica, por intermédio do processo de indução eletromagnética.

Para o sistema em estudo, o equipamento selecionado para a produção de energia eólica é a turbina ISTA BREEZE i-500, com uma potência máxima de 500 W, velocidade de arranque de 3 m/s e um diâmetro do rotor de 132 cm.



Figura 3.5 - Turbina Eólica ISTA BREEZE i-500.

A potência extraída do vento pela turbina eólica ( $P_V$ ) corresponde à energia contida no escoamento do vento ao atravessar as pás da turbina, dependendo de diversos fatores, como a velocidade do vento, a massa específica de ar ( $1,225 \text{ kg/m}^3$  ao nível do mar) e a área varrida pelo rotor do aerogerador. Considerando estes parâmetros pode-se estimar a energia produzida pela turbina eólica a partir da equação (3.2) (Semedo, 2023).

$$P_V = \frac{1}{2} \rho_{ar} A_T V_{vento}^3 \leftrightarrow P_V = \frac{1}{2} \rho_{ar} \left( \frac{\pi D_{rotor}^2}{4} \right) V_{vento}^3 \quad (3.2)$$

Onde:

- $P_V$  - Potência eólica [Wh];
- $\rho_{ar}$  - Massa específica do ar [ $\text{kg/m}^3$ ];
- $D_{rotor}$  - Diâmetro do rotor da turbina [m];
- $V_{vento}$  - Velocidade do vento [m/s].

A aquisição dos dados referentes à velocidade do vento foi realizada do mesmo sistema de informação geográfico fotovoltaico da Comissão Europeia usado para obter os dados relativos à radiação solar (Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação, 2024a). Este sistema disponibiliza também informações sobre a velocidade do vento a 10 metros acima do nível da água do mar. Para o presente estudo, foram considerados os dados correspondentes ao ano de 2023, como descrito anteriormente.

### 3.3 Coletores solares térmicos

Os coletores solares térmicos, destinados a fornecer a energia necessária ao processo de coagulação, são constituídos por uma placa absorvedora, responsável pela captação do calor proveniente da radiação solar, e por uma cobertura de vidro transparente, que tem a função de criar um efeito de estufa e reduzir perdas térmicas (Ferahta *et al.*, 2018). O processo de conversão da energia solar em energia térmica quando a radiação incide sobre a placa absorvedora elevando a sua temperatura. O calor é então transmitido a

um fluido térmico (normalmente água), que circula em tubos acoplados à placa absorvedora, permitindo o transporte da energia térmica até ao ponto de utilização. No âmbito do presente estudo a produção da energia térmica necessária para colmatar as necessidades da coagulação, será garantida pela instalação de dois coletores solares do modelo FKC-2S CTE, da marca Vulcano. Estes coletores apresentam uma área total de 2,37 m<sup>2</sup>, uma área útil do absorvedor de 2,18 m<sup>2</sup> e uma eficiência de 0,766 valores que demonstram a sua adequação para suprir as necessidades energéticas desta etapa do processo produtivo.



Figura 3.6 - Coletor Solar FKC-2S CTE.

Para a determinação da energia térmica produzida por intermédio da energia solar pode-se estimar utilizando a equação (3.1), considerando os mesmos dados de radiação solar retirados do sistema de informação geográfico fotovoltaico, previamente utilizados para os painéis solares fotovoltaicos.

### 3.4 Caldeira de pellets

A produção de energia térmica a partir queima de biomassa, destinada a atuar como mecanismo de segurança no processo de pasteurização do sistema, será realizada por meio da combustão controlada numa caldeira.

O combustível utilizado neste processo será constituído por pellets provenientes do aproveitamento de resíduos de outras indústrias, que, por definição, consistem em pequenos cilindros obtidos a partir da prensagem da serradura. Antes da combustão os pellets são armazenados num depósito integrado na própria caldeira e, quando necessário serão transportados automaticamente até à câmara de combustão. de forma automática. Durante o processo de combustão, o calor libertado é transferido para a água que circula num permutador de calor, permitindo o fornecimento de energia térmica ao processo de pasteurização.

No sistema em estudo, a caldeira implementada no sistema corresponde ao modelo Cantina Nova 30 kW, da marca ECOFOREST. Este equipamento apresenta uma

potência nominal de 30 kW, um rendimento de 93,1% e um consumo máximo de 6500 g/h, demonstrando elevada eficiência energética e adequação para suprir a totalidade das necessidades do processo de pasteurização.



Figura 3.7 - Caldeira de pellets Cantina Nova 30 kW.

### 3.5 Depósitos de Acumulação

Nos processos de pasteurização e coagulação, após o aquecimento da água realizado pelos coletores solares, pelo permutador de calor e pela caldeira de pellets, segue-se uma etapa de acumulação térmica (Figura 3.1). Nesta fase a água quente será armazenada em reservatórios específicos até ao momento em que, efetivamente, se inicia cada processo, altura em que se torna necessária a transferência de calor entre os dois fluídos para aquecimento do leite até às condições requeridas.

Relativamente aos depósitos de acumulação do sistema, para o depósito destinado ao processo de pasteurização será utilizado um depósito com uma capacidade máxima de 500 litros da marca Vieirinox, dimensionado de forma a garantir a disponibilidade de energia térmica suficiente para suprir as necessidades do processo.



Figura 3.8 - Depósito de acumulação de 500 L da Vieirinox.

Já para o depósito de acumulação, utilizado na parte referente ao processo de coagulação, optou-se pela utilização de um depósito W 300 EP C da marca Bosh, com uma capacidade de 300 litros.



Figura 3.9 - Depósito de acumulação W 300 EP C.

Para a determinação da energia térmica máxima acumulável nos depósitos de acumulação, recorre-se à equação (3.3). Para a sua aplicação, é necessário conhecer as temperaturas inicial e final da água no interior dos depósitos, bem como o calor específico do fluído, que para a água é de 4,186 kJ/kgK.

No processo de pasteurização como se pretende que o leite atinja uma temperatura de 63°C, assumiu-se que a água armazenada no depósito de acumulação deverá alcançar uma temperatura final de 70°C ( $T_f$ ). Esta escolha justifica-se pelo facto de segundo Calvo (2024), na maioria dos casos as caldeiras não permitem atingir temperaturas superiores a 80°C, o que dificultaria realizar o processo HTST na pasteurização.

De forma análoga, para o processo de coagulação, considerando que a temperatura alvo do leite é de 32°C, definiu-se que a água no tanque de acumulação deverá atingir uma temperatura final ( $T_f$ ) de 40°C.

Em ambos os casos, assumiu-se que a densidade da água é aproximadamente igual a 1 kg/L, o que permite considerar que o caudal de água corresponde à capacidade máxima dos depósitos. Além disso, definiu-se que a temperatura inicial da água à entrada do sistema é de 15°C (valor representativo das condições médias de abastecimento de água em Portugal).

$$Q_{Depósito} = \dot{m}_{água} \cdot c_p \cdot (T_f - T_i) \quad (3.3)$$

Onde:

- $Q_{Depósito}$  - Calor máximo armazenado no depósito de acumulação [Wh];
- $\dot{m}_{água}$  - Caudal de água/Capacidade máxima do depósito [kg/s];
- $c_p$  - Calor específico da água [kJ/kgK];
- $T_f$  - Temperatura final da água no interior do depósito [°C];
- $T_i$  - Temperatura inicial da água no interior do depósito [°C].

### 3.6 Bateria

Tal como se torna necessário o armazenamento da energia térmica gerada e utilizada nos processos de pasteurização e de coagulação, também se torna imprescindível armazenar a energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos e pela turbina eólica, de modo a possibilitar a sua utilização posterior no processo de cura do queijo. Para tal

finalidade, foi selecionada uma bateria de íon-lítio modelo T-BAT H 5.8, que apresenta uma capacidade nominal de 5,8 kW e uma capacidade utilizável de 5,2 kW assegurando assim um nível adequado de autonomia energética para o sistema. O dimensionamento da bateria foi realizado de acordo com os consumos elétricos do sistema verificados durante o período noturno.



Figura 3.10 - Bateria T-BAT H 5.8.

Adicionalmente, considerando a necessidade de compatibilizar a energia elétrica armazenada nas baterias com os equipamentos do sistema em estudo, torna-se imprescindível realizar a conversão da corrente contínua (DC), forma em que a energia está armazenada, em corrente alternada (AC), que constitui ao padrão de alimentação da maioria dos dispositivos da instalação. Para tal, é fundamental a utilização de um inversor de corrente, responsável por assegurar essa conversão com elevada eficiência. No caso do presente sistema, o inversor selecionado corresponde ao modelo X1-Hybrid-3.7, da marca SolaX Power, cuja função é não apenas converter a energia de DC para AC, mas também na otimização da gestão da energia entre a produção renovável, o armazenamento na bateria e o consumo dos equipamentos, garantindo, assim, um funcionamento contínuo e fiável do sistema.



Figura 3.11 - Inversor X1-Hybrid-3.7.

### 3.7 Evaporador

No processo de cura do queijo, torna-se necessário manter o produto a temperaturas e humidades controladas, de forma a regular o crescimento microbiano, evitar a secagem

prematura da superfície do queijo e proporcionar a consolidação da casca (Dias *et al.*, 2020). De modo a assegurar estas condições, o queijo será submetido a um processo de refrigeração que, normalmente, é realizado através de um sistema de refrigeração com compressão a vapor.

De acordo com Semedo (2023), o ciclo de um sistema de refrigeração com compressão a vapor envolve quatro etapas fundamentais: compressão, condensação, expansão e evaporação. No interior do compressor o fluido frigorígeno em estado gasoso irá ser comprimido, de modo a elevar a sua pressão e temperatura. De seguida o fluido passará pelo condensador, que permitirá a libertação de calor do fluido a altas temperaturas para o meio envolvente, resultando na condensação do fluido (passagem do estado gasoso para estado líquido). Posteriormente, o fluido em estado líquido atravessa uma válvula de expansão para reduzir a pressão e a temperatura. Finalmente, no evaporador o fluido frigorígeno absorve o calor do ambiente a ser refrigerado, conduzindo à evaporação do fluido.

A Figura 3.12 apresenta o ciclo ideal de compressão a vapor, anteriormente descrito, representado num diagrama de *Mollier*.

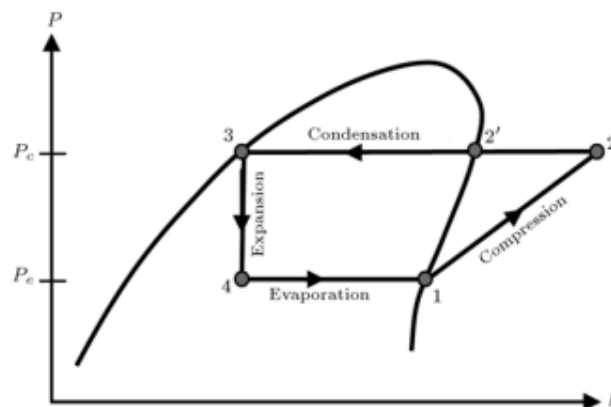


Figura 3.12 - Diagrama de *Mollier* do ciclo ideal de compressão a vapor (Semedo, 2023).

Embora um ciclo de um sistema de refrigeração com compressão a vapor apresente, teoricamente, as etapas já descritas, na realidade este sistema sofre algumas mudanças em relação ao modelo ideal. Entre estas diferenças destacam-se a não inclusão no ciclo teórico das perdas de carga associadas aos diversos componentes do sistema, bem como a ausência de sobreaquecimento e subarrefecimento à saída do compressor e do condensador, respetivamente, que no caso do sobreaquecimento visa evitar a entrada de líquido no compressor, para que este não se danifique. Para além disso, na realidade, o processo de compressão é politrópico, enquanto no ciclo ideal este é definido como isentrópico (Semedo, 2023). Estas discrepâncias entre o ciclo ideal e o ciclo real de um sistema de refrigeração com compressão a vapor podem ser observadas no diagrama de *Mollier* da Figura 3.13.

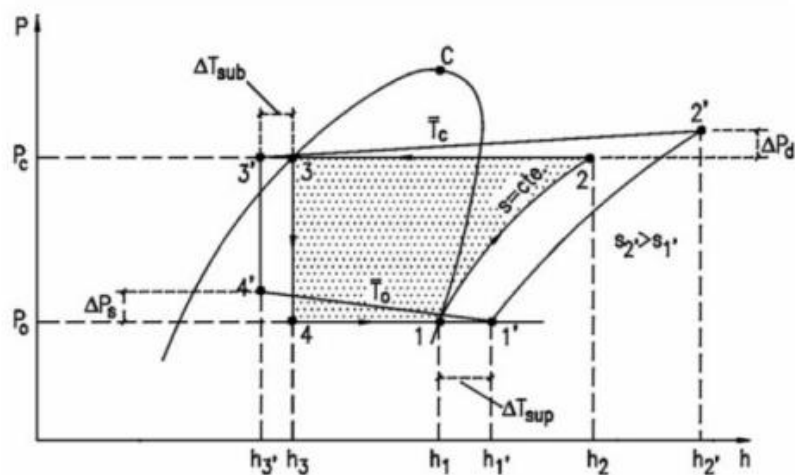


Figura 3.13 - Diferenças entre o ciclo frigorífico ideal e real (Semedo, 2023).

Para o dimensionamento do evaporador, responsável pela manutenção das condições de temperatura no interior da câmara de cura, torna-se necessário, em primeiro lugar, determinar a potência frigorífica do sistema a partir do cálculo das cargas térmicas da câmara de cura, de acordo com a equação (3.4).

$$\dot{Q}_{Frig} = \left(\frac{24}{TFE}\right) \cdot (\dot{Q}_{Cond} + \dot{Q}_{Prod} + \dot{Q}_{Int} + \dot{Q}_{Inf}) \cdot (CS + \dot{Q}_{Equip}) \quad (3.4)$$

Onde:

- $Q_{Frig}$  - Potência frigorífica [kW];
- TFE - Tempo de funcionamento do evaporador [h];
- $Q_{Cond}$  - Cargas térmicas por condução de calor externo [kW];
- $Q_{Prod}$  - Cargas térmicas do produto [kW];
- $Q_{Int}$  - Cargas térmicas internas (ocupação, iluminação e equipamentos) [kW];
- $Q_{Inf}$  - Cargas térmicas por infiltrações de ar [kW];
- CS - Coeficiente de segurança [%];
- $Q_{Equip}$  - Cargas térmicas do evaporador [kW].

Com base na potência frigorífica do sistema e recorrendo ao catálogo da Centauro, foi selecionado o evaporador de modelo DF 5010 CO<sub>2</sub>, com uma potência nominal de 3,99 kW. Contudo, dado que os valores de potência apresentados no catálogo correspondem a ensaios realizados para uma temperatura da câmara de 2°C e uma diferença de temperatura de 8K, foi necessário calcular o valor corrigido da potência do evaporador para as condições reais de funcionamento da câmara de cura em estudo. Para tal, considerou-se uma temperatura de 5°C e uma diferença de temperatura de 4K, obtendo-se um fator de capacidade de 0,588, o que resultou numa potência corrigida de 2,3 kW (Calvo, 2024).



Figura 3.14 - Evaporador DF 5010 CO<sub>2</sub>.

### 3.8 Unidade de condensação

Posteriormente ao dimensionamento do evaporador, conhecendo a potência frigorífica real (potência corrigida do evaporador) e considerando uma temperatura de evaporação de  $-10^{\circ}\text{C}$ , uma temperatura de condensação de  $40^{\circ}\text{C}$  e um sobreaquecimento à saída do evaporador de  $10^{\circ}\text{C}$ , selecionou-se uma unidade de condensação com compressor integrado, modelo UMT T 030 MTDX, com o  $\text{CO}_2$  como fluido frigorígeno. Esta unidade apresenta uma potência frigorífica nominal de 2507 W e um COP de 1,58, traduzindo-se numa potência elétrica do compressor de 1586,7 W.



Figura 3.15 - Unidade de condensação UMT T 030 MTDX.

Para além disso, no sistema em estudo incorporou-se um permutador de calor entre o compressor e o condensador da unidade, com o objetivo de reaproveitar parte do calor libertado para o meio ambiente no processo de condensação, para o aquecimento da água utilizada no processo de pasteurização.

### 3.9 PCM (Material Mudança de Fase)

Um *Phase Change Material* (PCM) é um material capaz de absorver, armazenar e libertar elevadas quantidades de energia térmica aquando da mudança de estado físico, ocorrendo esta transição a uma temperatura praticamente constante (Zalba *et al.*, 2003). No âmbito da presente dissertação, dado que se prevê a utilização de PCM no interior da câmara de cura, o interesse recai sobretudo na sua capacidade de absorção e armazenamento de energia térmica latente, com o objetivo de remover o calor do interior da câmara.

Durante a absorção de calor, o PCM atinge a sua temperatura de fusão, iniciando o processo de transição de fase, do estado sólido para o líquido. Neste momento o PCM armazena energia térmica latente. Posteriormente, para a regeneração do material e a sua reutilização, é necessário proceder ao processo inverso, colocando o PCM num exterior da câmara, num ambiente mais frio, para permitir a libertação de energia térmica latente e a solidificação do PCM.

O PCM utilizado para o caso de estudo foi o RT8HC da RubiTherm, que apresenta uma temperatura de fusão entre  $7$  e  $9^{\circ}\text{C}$  e uma temperatura de solidificação entre  $8$  e  $7^{\circ}\text{C}$ .

A utilização deste material no processo de cura do queijo, tem como finalidade contribuir para a estabilização térmica no interior da câmara e reduzir a sobrecarga sobre o compressor e, conseqüentemente, diminuir o consumo energético associado esta etapa do processo.



Figura 3.16 - PCM RT8HC (Calvo, 2024).

### 3.10 Câmara de cura

Para a realização do processo de cura do queijo, a câmara frigorífica deverá operar em duas fases distintas. Na primeira fase com duração de 15 dias, a temperatura deve manter-se constante entre 8 a 10°C, com uma humidade relativa entre 95 e 100%. Na segunda fase, também com duração de 15 dias, a câmara deve operar numa gama de temperatura entre 10 a 14°C e uma humidade relativa entre 85 e 90%, condições essenciais para o correto desenvolvimento de cura do queijo.

Durante os períodos compreendidos entre 27 de janeiro e 27 de fevereiro de 2025 e, entre 23 de maio e 24 de junho de 2025, o protótipo desenvolvido no âmbito do projeto CASEUS, instalado no Instituto Politécnico de Beja, esteve em operação realizando o processo de cura com queijo no interior da câmara frigorífica. No ensaio que se iniciou em janeiro produziu-se cerca de 38 kg de queijo, enquanto no ensaio iniciado em maio a produção foi de 24 kg.

Para a presente dissertação os consumos energéticos no processo de cura foram considerados com base nos valores registados durante uma semana de funcionamento dos ensaios realizados no protótipo do projeto CASEUS. Os dados de monitorização foram recolhidos através da aplicação de monitorização instalada no protótipo (SolaX Power, 2025).

### 3.11 Tanque de pasteurização

No processo de pasteurização o leite é colocado no tanque de pasteurização, onde com o auxílio de uma pá giratória é homogeneamente misturado de forma contínua, de modo a uniformizar a temperatura em todo o volume do leite (Araújo *et al.*, 2021).

O tanque é constituído por uma parede dupla, por onde circula a água aquecida pelo permutador de calor da unidade de condensação e pela caldeira de pellets. Desta forma, conforme referido por Araújo *et al.* (2021), o leite é aquecido, por transferência de calor até à temperatura de pasteurização e, em seguida mantido nessa mesma temperatura durante o período de tempo necessário para a realização do processo de pasteurização. No âmbito da presente dissertação, definiu-se, em consonância com o protótipo do projeto CASEUS, que a pasteurização será do tipo LTLT, com uma temperatura de pasteurização de 63°C mantida por 30 minutos.

Para a determinação do consumo energético no processo de pasteurização, uma vez que não se encontraram dados específicos relativos ao protótipo do projeto CASEUS procedeu-se à análise das Tabela 2.2 e Tabela 2.3, de forma a recorrer a valores fidedignos para o desenvolvimento da aplicação informática.

Sendo o estudo realizado por Xu *et al.* (2009) a única referência identificada que quantifica a contribuição percentual em cada processo no consumo energético total, os respetivos dados serão utilizados como referência inicial. No entanto, para o contexto europeu, os valores de consumo apresentados no estudo revelam-se significativamente desfasados, e não fornecem uma média representativa, sem ser para os Países Baixos. Neste sentido, considerou-se mais apropriado adotar os valores propostos por Ladha-Sabur *et al.* (2019), que consolidam uma média de consumo energético obtida a partir da análise de múltiplos estudos e unidades queijeiras, apresentando-se, portanto, como mais representativos.

Assim, considerou-se que o consumo energético total para a produção de queijo seria igual a 5,04 MJ/kg de queijo (Ladha-Sabur *et al.*, 2019), valor equivalente a 1,4 kWh/kg de queijo. Relativamente ao consumo específico na pasteurização, tanto Xu *et al.* (2009), como Ladha-Sabur *et al.* (2019) indicam que este processo representa cerca de 17 a 26% do consumo energético total. Para efeitos do desenvolvimento da aplicação informática, considerou-se o cenário mais conservador, assumindo que a pasteurização contabiliza 26% do consumo total, o que resulta num consumo desta etapa do processo equivalente a 0,364 kWh/kg de queijo.

Finalmente, para permitir a análise do funcionamento da instalação em estudo ao longo de uma semana, foi necessário definir um perfil operacional para a pasteurização. Estabeleceu-se que a pasteurização deverá ocorrer diariamente, em dias úteis, às 9 horas, não se realizando aos fins de semana.

### 3.12 Tanque de coagulação

O processo térmico de coagulação apresenta muitas semelhanças com o processo de pasteurização, uma vez que, também nesta etapa do processo, o leite é colocado num tanque de coagulação, normalmente de aço inoxidável e dotado de uma parede dupla, no interior do qual circula a água aquecida, proveniente dos coletores solares. A principal diferença em relação à pasteurização baseia-se no facto de, durante a coagulação, ser adicionado o coalho ao leite.

Para a presente dissertação, definiu-se, em conformidade com o protótipo desenvolvido no projeto CASEUS, que a temperatura de coagulação será de 32°C mantida durante um período de 1 hora.

No que diz respeito ao consumo energético associado ao processo de coagulação, adotou-se a mesma metodologia aplicada ao cálculo do consumo energético da pasteurização. Assim, considerando um consumo energético total de 5,04 MJ/kg de queijo, definido por Ladha-Sabur *et al.* (2019), e assumindo novamente o cenário mais conservador, em que a coagulação representa 14% do consumo total (Xu *et al.*, 2009), obteve-se um consumo energético do processo de coagulação equivalente a 0,196 kWh/kg de queijo.

Por fim, foi igualmente estabelecido um perfil operacional para a coagulação no contexto do funcionamento semanal do sistema em estudo. Determinou-se também que o processo deverá ocorrer diariamente em dias úteis, às 11h00, não se realizando aos fins de semana, em consonância com o planeamento energético global definido para a instalação.



## 4 Metodologia de cálculo

### 4.1 Custos energéticos

Embora na unidade queijeira em estudo, uma parcela significativa das necessidades energéticas possa ser suprida através da energia renovável produzida localmente, permanece a necessidade de recorrer a outras fontes de energia de modo a garantir que todos os processos da produção de queijo decorram sem interrupções e sem comprometer a qualidade final do queijo, assegurando simultaneamente a segurança alimentar e continuidade operacional da unidade.

As fontes complementares de energia consideradas incluem a eletricidade proveniente da rede elétrica nacional e a energia térmica resultante da queima de biomassa (pellets). Estas alternativas desempenham um papel estratégico, uma vez que permitem suprir eventuais falhas ou insuficiências da produção renovável local.

Neste contexto, torna-se essencial conhecer os custos atuais de eletricidade e da biomassa (pellets) praticados em Portugal, com o intuito de viabilizar uma análise comparativa de custos energéticos. Esta análise permitirá a avaliação dos ganhos económicos obtidos pelo caso de estudo, em comparação com unidades queijeiras tradicionais que dependem exclusivamente do fornecimento externo de energia e não dispõem de sistemas de produção renovável descentralizada.

#### 4.1.1 Custo eletricidade

Como referido anteriormente, existe a possibilidade de o sistema não conseguir fornecer a totalidade da energia necessária para suprir as necessidades energéticas de todos os equipamentos elétricos do sistema, com especial atenção nos essenciais ao processo de cura do queijo. Nesses casos, torna-se imprescindível recorrer à eletricidade proveniente da rede nacional, sendo, por conseguinte, necessário definir o preço aplicável desta energia.

Para a determinação do preço da eletricidade correspondente à tarifa que será aplicada à unidade queijeira em estudo, torna-se fundamental seguir um conjunto de etapas que permitam caracterizar de forma precisa o perfil de consumo da unidade queijeira e enquadrá-lo nas opções tarifárias disponibilizadas pelos fornecedores de energia elétrica.

Num primeiro passo, para identificar a tarifa de fornecimento aplicável à unidade queijeira em estudo, deve-se calcular a potência aparente do sistema. Segundo Dias (2021), este parâmetro pode ser obtido através da equação (4.1), permitindo assim selecionar a tarifa mais adequada ao perfil de consumo da instalação.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (4.1)$$

Onde:

- S - Potência aparente [VA];
- P - Potência ativa [W];
- $\cos \varphi$  - Fator de potência.

Para determinar o valor da potência ativa a considerar, procedeu-se à análise dos perfis de consumo elétrico do sistema em estudo, identificando-se o valor de consumo horário mais elevado ao longo de todo o perfil analisado. Este valor foi de 1800 Wh, o que, considerando os registos de consumo são realizados um tem uma base horária, então a potência ativa correspondente é 1800 W.

Relativamente ao fator de potência, não existindo nenhuma informação sobre o mesmo para o caso do sistema implementado no âmbito do projeto CASEUS e, conforme Mon *et al.* (2014), tipicamente nas indústrias o fator de potência varia entre 0,8 e 0,98, então assumiu-se um fator de potência de 0,80 para os cálculos.

Com base nestes dados, a potência aparente foi calculada através da equação (4.1), obtendo-se um valor de 2250 VA. Para garantir que o fornecimento de energia seja adequado mesmo perante variações imprevistas no consumo, aplicou-se uma margem de segurança de 20%, resultando numa potência aparente ajustada de 2700 VA.

Ao comparar este valor de potência com os escalões de potência disponibilizados pelos fornecedores de energia, verificou-se que a potência contratada mais próxima seria de 3,45 kVA, logo este será valor a considerar para o sistema em estudo.

Posteriormente, tornou-se fundamental identificar o escalão de tensão em que a unidade queijeira do caso de estudo se encontra inserida, uma vez que as tarifas de fornecimento de energia elétrica são estruturadas com base nesta classificação (ERSE, 2025). Importa salientar que a aplicação da tarifa depende do nível de tensão nominal entre fases da instalação.

De acordo com Oliveira (2022), e considerando a regulamentação atualmente em vigor no setor elétrico nacional, é possível distinguir os seguintes escalões de tensão, utilizados para enquadrar as instalações consumidoras de energia elétrica:

- Baixa Tensão (BT) - tensão nominal entre fases igual ou inferior a 1 kV, subdividindo-se em:
  - Baixa Tensão Normal (BTN) - potência contratada igual ou inferior a 41,4 kVA;
  - Baixa Tensão Especial (BTE) - potência contratada superior a 41,4 kVA;
- Média Tensão (MT) - tensão nominal entre fases superior a 1 kV e inferior a 45 kV;
- Alta Tensão (AT) - tensão nominal entre fases superior a 45 kV e inferior a 110 kV;
- Muito Alta Tensão (MAT) - tensão nominal entre fases superior a 110 kV.

A identificação do escalão de tensão em que a instalação se enquadra é essencial para a determinação da tarifa de fornecimento de energia elétrica aplicável. Tal classificação

não apenas define os custos associados à energia e à potência contratada, como também influencia as condições técnicas de ligação à rede.

A estrutura tarifária aplicável a cada escalão contempla diferentes parcelas:

- Para clientes em regime BTN:
  - Potência Contratada (€/kVA);
  - Energia ativa por período tarifário (€/kWh).
- Para clientes em regime BTE, MT, AT ou MAT:
  - Termo fixo relativo a contratação, leitura, faturação e cobrança (€/mês);
  - Potência contratada (€/kVA·mês);
  - Energia ativa por período tarifário (€/kWh);
  - Energia reativa fornecida e consumida (€/kVAr).

A segmentação tarifária permite que o custo da energia elétrica seja ajustado às características técnicas e operacionais da instalação, bem como ao respetivo perfil de consumo do cliente, o que assegura uma distribuição equitativa dos custos de fornecimento energético.

Analisando os escalões de tensão definidos anteriormente, verifica-se que a unidade queijeira em estudo se enquadra no escalão de Baixa Tensão Normal (BTN), uma vez que apresenta uma potência contratada inferior a 41,4 kVA e a instalação opera a uma tensão nominal inferior ou igual a 1 kV, uma vez que todos os equipamentos funcionam com uma alimentação elétrica inferior a este valor.

Para o escalão de tensão identificado, encontram-se disponíveis diversas modalidades tarifárias, definidas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE, 2025), as quais se distinguem pelo número e pela definição dos períodos horários:

- Tarifa Simples - apresenta um único período horário, aplicável a todas as horas de todos os dias da semana;
- Tarifa Bi-Horária - contabiliza dois períodos horários: horas de vazio, com tarifas mais reduzidas e, horas fora de vazio, com custos mais elevados para o consumo de energia;
- Tarifa Tri-Horária - contempla três períodos horários: horas de ponta (tarifas mais elevadas), horas de cheia (tarifas intermédias) e horas de vazio (tarifas mais baixas).

A escolha entre estas modalidades deverá ser feita em função do perfil real de consumo da unidade queijeira, permitindo a compatibilização do fornecimento energético, de acordo com necessidades operacionais, e a otimização dos custos associados ao processo de produção de queijo.

Adicionalmente, Oliveira (2022) salienta que, para a correta determinação do montante a pagar pelo consumo de energia elétrica, é necessário considerar não apenas as modalidades tarifárias, mas também a existência de períodos trimestrais. Estes períodos correspondem a ajustes sazonais introduzidos pela ERSE, que definem a distribuição dos períodos horários de cada modalidade tarifária. O objetivo desta divisão é refletir, de forma mais precisa, as necessidades nacionais de energia e o grau de

esforço imposto à rede elétrica de distribuição em diferentes épocas do ano. De acordo com a regulamentação em vigor os períodos trimestrais são os seguintes:

- Período I - de 1 de janeiro a 31 de março;
- Período II - de 1 de abril a 30 de junho;
- Período III - de 1 de julho a 30 de setembro;
- Período IV - de 1 de outubro a 31 de dezembro.

A Tabela 4.1 apresenta, para cada período trimestral, a correspondência dos períodos horários e as respetivas modalidades tarifárias, permitindo assim uma avaliação detalhada do impacto das variações sazonais no custo final da energia.

Tabela 4.1 - Períodos horários aplicáveis a Portugal (Oliveira, 2022).

Períodos Trimestrais:	Tarifa Aplicável	Período Horário	Faixa Temporal		
			Dias Úteis	Sábado	Domingo
Período I e IV	Tarifa Simples	Horas Ativas	00:00 – 23:59	00:00 – 23:59	00:00 – 23:59
	Tarifa Bi-Horária	Horas de Vazio	00:00 – 07:00	00:00 – 09:30 13:00 – 18:30 22:00 – 23:59	00:00 – 23:59
		Horas Fora de Vazio	07:00 – 23:59	09:30 – 13:00 18:30 – 22:00	-
	Tarifa Tri-Horária	Horas de Ponta	09:30 – 12:00 18:30 – 21:00	-	-
		Horas de Cheia	07:00 – 09:30 12:00 – 18:30 21:00 – 23:59	09:30 - 13:00 18:30 – 22:00	-
		Horas de Vazio	00:00 – 07:00	00:00 – 09:30 13:00 – 18:30 22:00 – 23:59	-
Períodos II e III	Tarifa Simples	Horas Ativas	00:00 – 23:59	00:00 – 23:59	00:00 – 23:59
	Tarifa Bi-Horária	Horas de Vazio	00:00 – 07:00	00:00 – 09:00 14:00 – 20:00 22:00 – 23:59	00:00 – 23:59
		Horas Fora de Vazio	07:00 – 23:59	09:00 – 14:00 20:00 – 22:00	-
	Tarifa Tri-Horária	Horas de Ponta	09:15 – 12:15	-	-
		Horas de Cheia	07:00 – 09:15 12:15 – 23:59	09:00 - 14:00 20:00 – 22:00	-
		Horas de Vazio	00:00 – 07:00	00:00 – 09:00 14:00 – 20:00	00:00 – 23:59

Com base nesta informação é possível aplicar ao caso de estudo os preçários de consumo de energia apresentados na Tabela 4.2, da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE, 2024a):

Tabela 4.2 - Tarifas aplicáveis ao escalão BTN, para uma potência contratada igual ou inferior a 2,3 kVA (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), 2024a).

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM BTN ( $\leq 20,7$ kVA e $> 2,3$ kVA)		PREÇOS
<b>Potência contratada</b>		<b>EUR/dia</b>
Tarifa simples, bi-horária e tri-horária	3,45	0,1786
	4,6	0,2325
	5,75	0,2860
	6,9	0,3396
	10,35	0,5004
	13,8	0,6612
	17,25	0,8220
20,7	0,9827	
<b>Energia ativa</b>		<b>EUR/kWh</b>
Tarifa simples		0,1658
Tarifa bi-horária	Horas fora de vazio	0,2008
	Horas de vazio	0,1094
Tarifa tri-horária	Horas de ponta	0,2448
	Horas cheias	0,1777
	Horas de vazio	0,1094

No âmbito do caso de estudo da presente dissertação, a contabilização do custo da energia ativa (€/kWh) para a unidade queijeira será realizada com base no período em que se verifique a necessidade de recorrer ao consumo elétrico proveniente da rede pública. Para tal, considerar-se-á a aplicação das modalidades tarifárias disponíveis: tarifa simples, bi-horária ou tri-horária, selecionando a que melhor se adequa ao perfil de consumo para os diferentes ensaios (valor monetário mais baixo), tal como poderá ser observado no Capítulo 5.

#### 4.1.2 Custo pellets

Para além da determinação do custo da eletricidade adquirida à rede elétrica nacional, a qual poderá ser necessária caso o sistema não seja autossuficiente, torna-se igualmente relevante definir o custo associado aos pellets, dado que existe a possibilidade da utilização deste material para fornecimento de energia térmica. Esse fornecimento poderá ocorrer através de uma caldeira, sendo particularmente aplicado no processo de pasteurização, caso a energia disponibilizada pelo dessobreaquecedor se revele suficiente para satisfazer integralmente as exigências energéticas do processo.

De acordo com Nunes *et al.* (2021), o mercado de pellets apresenta um comportamento instável, com o preço por tonelada a variar consoante o fornecedor, sofrendo igualmente flutuações anuais e sazonais. Com base nos dados analisados por estes autores e, para o caso específico de Portugal, a evolução do preço por tonelada de pellets praticado pelos fornecedores nacionais, no período compreendido entre 2016 e 2019, pode ser observado na Tabela 4.3, distinguindo-se os valores referentes ao uso doméstico e ao uso industrial.

Tabela 4.3 - Evolução dos preços médios da tonelada de pellets no período de 2016 a 2019, em Portugal.

	2016	2017	2018	2019
Industrial wood pellets	116 EUR/t	105 EUR/t	108 EUR/t	112 EUR/t
Domestic wood pellets	150 EUR/t	155 EUR/t	160 EUR/t	165 EUR/t

No entanto, Nunes *et al.* (2021) alertavam para uma tendência de aumento nos preços dos pellets para os anos de 2022 e 2023, estimando incrementos na ordem dos 17% e 23%, respetivamente, em relação aos preços praticados em 2021. Esta projeção foi posteriormente corroborada pelos dados apresentados por Argus Media (2022), que mostram que, no final de 2022, o preço dos pellets em Portugal atingiu um valor máximo histórico, chegando a cerca de 317,25€.

Por outro lado, de acordo com um relatório mais recente da Argus Media (2024) verificou-se uma tendência de redução do preço dos pellets nos últimos anos, situando-se em cerca de 161,11€ por tonelada em 2024. As estimativas efetuadas, no mesmo relatório, para os anos entre 2025 e 2027 apontavam para valores a rondar os 190€/tonelada (Tabela 4.4). Importa salientar que os valores disponibilizados são relativos aos preços de mercado grossista internacional, com contratos CIF (*Cost, Insurance and Freight*)/FOB (*Free on Board*) para entrega em portos, não incluindo os custos referentes ao transporte do porto até à empresa, ao ensacamento e a encargos fiscais, como o IVA.

Tabela 4.4 - Estimativa dos preços da tonelada de pellets para os anos de 2025 a 2027 (Argus Media, 2024).

Wood pellets - forward prices			
	Bid	Ask	±
<b>cif NWE \$/t</b>			
2Q24	160.00	166.00	-2.50
3Q24	160.00	166.00	-4.50
4Q24	197.00	203.00	nc
1Q25	200.00	206.00	nc
2025	204.00	210.00	nc
2026	205.50	211.50	nc
2027	205.50	211.50	nc
<b>fob Baltic €/t</b>			
2Q24	158.50	164.50	-1.25
3Q24	158.50	164.50	-1.50
4Q24	187.00	193.00	nc
1Q25	192.50	198.50	nc
2025	194.00	200.00	nc
2026	195.00	201.00	nc
2027	195.00	201.00	nc
<b>fob Portugal €/t</b>			
2Q24	158.00	164.00	-3.75
3Q24	158.00	164.00	-3.75
4Q24	187.00	193.00	nc
1Q25	192.50	198.50	nc
2025	193.50	199.50	nc
2026	194.00	200.00	nc
2027	194.00	200.00	nc

Contudo, segundo Jesus (2024), o preço médio final de venda de pellets a consumidores (domésticos ou pequenos negócios) é de 366€ por tonelada, equivalente a 0,366€/kg. Para a presente dissertação e para os cálculos a realizar na aplicação informática vai-se considerar este valor como referência para o preço dos pellets.

### 4.1.3 Venda do excedente de eletricidade à rede

A produção de energia renovável para autoconsumo tende, por natureza, a gerar um excedente energético, uma vez que, em determinados períodos do dia, a produção pode superar as necessidades energéticas de consumo da instalação, enquanto os sistemas de armazenamento (baterias) já se encontram totalmente carregados. Nestas circunstâncias, de modo a evitar desperdícios energéticos, e a promover a eficiência económica do sistema, este excedente pode ser injetado na rede elétrica pública, possibilitando a sua comercialização.

De acordo com Costa (2016), as instalações de autoconsumo com potência inferior a 1 MW integradas no regime de venda de excedentes de produção (RESP) podem formalizar a venda de energia excedente através da celebração de um contrato de comercialização, recorrendo o Código Único de Registo (CUR).

Segundo Graça (2019), a remuneração obtida com a venda deste excedente de energia depende das tarifas estabelecidas pelo Operador do Mercado Ibérico de Eletricidade (OMIE) para Portugal. A remuneração que o produtor receberá pela energia exportada à RESP pode ser calculada através da equação (4.2).

$$R_{UPAC} = E_{fornecida} \cdot OMIE \cdot 0,9 \quad (4.2)$$

Onde:

- $R_{UPAC}$  - Remuneração da eletricidade fornecida à RESP [€];
- $E_{fornecida}$  - Energia fornecida à RESP [kWh];
- OMIE - Média aritmética dos preços de fecho do OMIE para Portugal (mercado diário) [€/kWh];
- 0,9 – Fator de correção que traduz a dedução de 10% para compensar custos de acesso ao mercado.

Na presente dissertação, os valores considerados para os preços do mercado ibérico de energia foram calculados através da média de preços do mercado diário português, correspondentes aos dias das semanas em que se realizará, posteriormente, os ensaios do caso de estudo, nomeadamente entre 27 de janeiro e 2 de fevereiro de 2025 e entre 26 de maio e 1 de junho de 2025. A Tabela 4.5 apresenta os preços aplicáveis à venda do excedente de energia para essas semanas (OMIE, 2025).

Tabela 4.5 - Preço semanal médio do mercado diário para Portugal (OMIE, 2025).

Semana	OMIE [€/kWh]
27/01 - 02/02	0,0633
26/05 - 01/06	0,0347

## 4.2 Aplicação Informática

Neste capítulo será apresentada a metodologia adotada no desenvolvimento do da aplicação informática, elaborada em Microsoft Excel, do sistema integrado de energias

renováveis (biomassa, solar térmica, solar fotovoltaica e eólica) destinado à produção e conservação de queijo, conforme definido anteriormente.

A estrutura do capítulo contempla uma descrição detalhada da aplicação informática incluindo o funcionamento do programa em relação aos processos de pasteurização, coagulação e cura. Em cada um destes processos serão incluídos os equipamentos de produção e armazenamento de energia renovável, bem como os equipamentos com consumo de energia, específicos de cada etapa do processo de produção do queijo.

Tal como foi referido anteriormente, a aplicação informática foi desenvolvida com base em iterações horárias, permitindo a análise de diferentes cenários energéticos ao longo de períodos com periodicidade semanal.

O principal objetivo do desenvolvimento desta aplicação informática consiste em avaliar a viabilidade técnica-económica do protótipo proposto nesta dissertação, enquanto solução exequível para unidades de produção de queijo localizadas, nomeadamente, em zonas remotas, visando garantir um funcionamento praticamente autossuficiente em termos energéticos.

O algoritmo de gestão de energia foi desenvolvido tendo como base três componentes fundamentais, que operam de forma integrada: a componente elétrica do sistema, o processo de pasteurização e o processo de coagulação. Cada uma destas componentes foi modelada de modo a representar a gestão energética necessária para satisfazer as necessidades energéticas dos respetivos processos de produção de queijo. Para tal foi considerada a utilização de energias renováveis produzidas localmente, da energia armazenada nas baterias, e quando necessário, o recurso complementar à eletricidade da rede elétrica nacional ou da energia térmica proveniente da biomassa. A finalidade desta ferramenta será a de compreender a dinâmica da gestão energética semanal, avaliando em que medida as diferentes fontes podem suprir as necessidades do processo produtivo.

De forma geral, o algoritmo da ferramenta informática, ilustrado no fluxograma da Figura 4.1, inicia-se com a leitura dos parâmetros de entrada essenciais ao seu funcionamento. Tais como: o custo da eletricidade, que será determinado pela potência contratada e pela modalidade da tarifa aplicável; o preço de venda da eletricidade excedente à rede elétrica nacional e o custo dos pellets de biomassa, utilizados no fornecimento de energia térmica.

De seguida, a ferramenta, tal como descrito anteriormente, realizará a gestão energética dos vários processos de produção de queijo (1.1 - cura/componente elétrica do sistema, 2.1 - pasteurização e 3.1 - coagulação). A partir desta gestão, são obtidos os valores de energia adquirida da rede elétrica nacional e da energia excedente vendida à rede (1.2), bem como a quantidade de pellets consumida (2.2). Os algoritmos associados a cada componente dos processos de produção serão explicados posteriormente.

Com base nos parâmetros de entrada e, após a simulação dos três componentes, na sequência, recorrendo à equação (4.3), procede-se ao cálculo do valor a pagar pela energia remanescente, possibilitando o conhecimento dos custos ou lucros associados à unidade de produção de queijo em estudo na presente dissertação.

$$Preço\ a\ Pagar = (Energia_{Rede} \cdot Custo_{Elettricidade} - Venda_{Energia} \cdot Preço_{Venda\ Elettricidade}) + Quantidade_{Pellets} \cdot Custo_{Pellets} \quad (4.3)$$

Onde:

- $Energia_{Rede}$  - Energia elétrica necessária da rede elétrica nacional para colmatar o remanescente das necessidades elétricas do sistema [Wh];
- $Custo_{Elettricidade}$  - Custo da energia elétrica proveniente da rede nacional [€/Wh];
- $Venda_{Energia}$  - Energia a vender à rede elétrica nacional [kWh];
- $Preço_{Venda\ Elettricidade}$  - Preço de venda da energia elétrica à rede nacional [€/Wh];
- $Quantidade_{Pellets}$  - Quantidade de pellets necessária para suprir o remanescente do consumo da pasteurização [kg];
- $Custo_{Pellets}$  - Custo por quilograma de pellets [€/kg].

Para além da avaliação técnico-económica, torna-se igualmente essencial avaliar o impacto ambiental efetivo da solução desenvolvida na presente dissertação. Nesse sentido a aplicação informática efetuará o cálculo das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalentes através da equação (4.4), considerando o valor total da energia proveniente da rede elétrica e da energia gerada pela caldeira de pellets (biomassa). No entanto, para a realização deste cálculo, é necessário conhecer previamente o fator de emissão relativo à eletricidade e à biomassa. De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (2025), o fator de emissão mais recente para a eletricidade, referente a 2023, equivale a 0,107 kg CO<sub>2</sub>e/kWh, enquanto que para a biomassa o valor indicado é de 0,032 kg CO<sub>2</sub>e/kWh.

$$Emissões_{CO_2e} = Energia_{Rede} \cdot FE_{Elettricidade} + Energia_{Pellets} \cdot FE_{Biomassa} \quad (4.4)$$

Onde:

- $Emissões_{CO_2e}$  - Emissões de dióxido de carbono equivalentes [kg CO<sub>2</sub>e];
- $FE_{Elettricidade}$  - Fator de emissão da eletricidade [kg CO<sub>2</sub>e/kWh];
- $Energia_{Pellets}$  - Energia proveniente da queima de pellets [Wh];
- $FE_{Biomassa}$  - Fator de emissão da biomassa [kg CO<sub>2</sub>e/kWh].

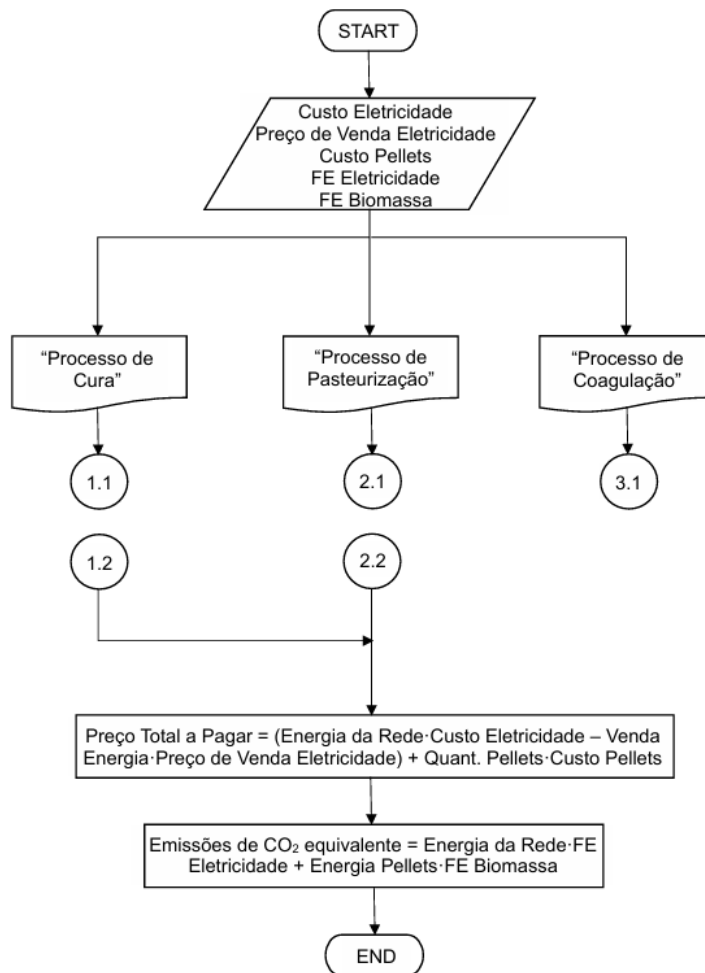


Figura 4.1 - Fluxograma principal do algoritmo do programa de simulação

#### 4.2.1 Processo de cura (energia elétrica)

Conforme referido anteriormente, o algoritmo desenvolvido na aplicação informática, na sua componente relativa ao processo de cura e ao consumo de energia elétrica em geral, tem como principal objetivo assegurar a máxima utilização da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos e pela turbina eólica para suprir a maior parte das necessidades de energia elétrica da instalação. Com particular destaque para o funcionamento da unidade de condensação e do evaporador, responsáveis pela manutenção das temperaturas no interior da câmara. Adicionalmente, o algoritmo de gestão foi concebido para responder às necessidades elétricas de outros equipamentos auxiliares do sistema, tais como bombas e dispositivos elétricos complementares. Paralelamente, contempla-se o armazenamento da energia excedente em baterias, assegurando a continuidade do fornecimento energético em períodos de baixa produção de energia renovável ou ausência de geração.

O fluxograma apresentado na Figura 4.2 exemplifica o modo de funcionamento da componente elétrica da aplicação informática. Observa-se que, num primeiro momento, é necessário definir as variáveis de entrada fundamentais, nomeadamente: a produção elétrica fotovoltaica, a produção elétrica eólica, os consumos elétricos e a capacidade

de armazenamento da bateria. Para efeitos de simulação, assumiu-se ainda que a bateria se encontrava totalmente descarregada no instante inicial (início dos ensaios). Os valores correspondentes à produção elétrica fotovoltaica e à produção elétrica eólica foram previamente determinados com base nas características técnicas dos equipamentos instalados e nos dados de radiação solar e velocidade do vento, disponibilizados pelo Sistema de Informação Geográfico Fotovoltaico da Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação (2024a), aplicando as equações (3.1) e (3.2), respetivamente.

Relativamente aos consumos elétricos, como foi referido anteriormente, foram obtidos através do programa de monitorização instalado no protótipo do projeto CASEUS, considerando semanas em que se verificou produção de queijo.

A seguir, com as variáveis de entrada definidas calculou-se a produção de energia elétrica total através da equação (4.5).

$$Prod_{Elétrica} = Prod_{PF} + Prod_{Eólica} \quad (4.5)$$

Onde:

- $Prod_{Elétrica}$  - Produção de energia elétrica total [Wh];
- $Prod_{PF}$  - Produção de energia solar fotovoltaica [Wh];
- $Prod_{Eólica}$  - Produção de energia eólica [Wh].

Tendo em conta esta abordagem, a energia elétrica total produzida é inicialmente utilizada para suprir as necessidades elétricas no instante considerado. Em seguida, procede-se à determinação do balanço energético, isto é, calcula-se a energia elétrica remanescente (quando a produção é superior ao consumo) ou em alternativa o défice energético (quando a produção é insuficiente face à procura). Este procedimento permite avaliar a disponibilidade de energia em cada instante da simulação e constitui a base para a definição de armazenamento em bateria ou de recurso à rede elétrica nacional. O cálculo deste balanço, está apresentado na equação (4.6).

$$Energia_{Após Renováveis} = Prod_{Elétrica} - Consumo_{Cura} \quad (4.6)$$

Onde:

- $Energia_{Após Renováveis}$  - Energia elétrica disponível ou em falta após a utilização da energia produzida a partir dos painéis fotovoltaicos e da turbina eólica [Wh];
- $Consumo_{Cura}$  - Consumo elétrico do sistema [Wh].

Após a determinação do balanço energético pela equação (4.6), o programa segue percursos distintos em função do valor obtido.

Se o resultado da equação (4.6) for igual a zero, conclui-se que a energia elétrica produzida corresponde às necessidades energéticas do processo de cura, não havendo excedente nem défice. Neste caso, o programa encerra o cálculo relativo a esse instante temporal.

Se o resultado da equação (4.6) for superior a zero, significa que a produção de energia elétrica proveniente dos painéis fotovoltaicos e da turbina eólica excede o consumo do

sistema. Assim a energia elétrica remanescente será direcionada para armazenamento na bateria, a fim de ser utilizada em períodos subsequentes de menor produção.

Para esse efeito, é necessário determinar a capacidade de armazenamento efetiva disponível na bateria. Este cálculo deve considerar não apenas a energia excedente disponível após a satisfação dos consumos do sistema, mas também o estado de carga previamente existente na bateria.

A equação (4.7) apresenta o cálculo relativo à descrição anterior.

$$Energia_{Total} = Energia_{Após Renováveis} + Energia_{Bateria(i-1)} \quad (4.7)$$

Onde:

- $Energia_{Total}$  - Energia passível de armazenar na bateria [Wh];
- $Energia_{Após Renováveis}$  - Energia elétrica disponível após a utilização da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos e pela turbina eólica para colmatar os consumos do sistema [Wh];
- $Energia_{Bateria(i-1)}$  - Energia armazenada na bateria, na iteração anterior [Wh].

No entanto, importa salientar que a bateria possui uma capacidade máxima, a qual não pode ser excedida. Conforme descrito anteriormente, a bateria do sistema apresenta uma capacidade máxima utilizável de 5,2 kWh. Assim, caso o valor de energia calculado a partir da equação (4.7) seja superior a esse limite a energia armazenada na bateria, nesta iteração, será igual ao valor máximo permitido de 5,2 kWh. A parcela excedente de energia, não podendo ser acumulada, será direcionada para a venda à rede elétrica nacional, conforme procedimento descrito na equação (4.8).

$$Venda_{Energia} = Energia_{Total} - Capacidade_{Bateria} \quad (4.8)$$

Onde:

- $Venda_{Energia}$  - Energia a vender à rede elétrica nacional [kWh];
- $Capacidade_{Bateria}$  - Capacidade máxima utilizável da bateria [kWh].

Porém, caso a energia passível de armazenar seja inferior à capacidade máxima da bateria, a energia efetivamente acumulada na bateria, nessa iteração, corresponderá ao valor de energia calculado ( $Energia_{Total}$ ), concluindo-se, deste modo, a iteração.

Por outro lado, caso o valor resultante da equação (4.6) for inferior a zero, tal resultado significa que as necessidades elétricas do sistema não foram integralmente satisfeitas apenas com a energia das fontes renováveis e, portanto, utilizar-se-á a energia armazenada na bateria, da iteração anterior. Neste cenário, será necessário verificar se a energia disponível na bateria será suficiente para suprir as necessidades do sistema, isto é, se a energia armazenada na bateria é superior ao valor absoluto da  $Energia_{Após Renováveis}$ , de forma a evitar situações de descarga total da bateria.

Se a energia disponível na bateria for superior ao valor absoluto do balanço energético calculado na equação (4.6), então a energia armazenada é suficiente para satisfazer o remanescente das necessidades elétricas do sistema. Nestas condições, procede-se ao cálculo da energia remanescente após o uso da bateria, conforme definido na equação

(4.9), considerando que a energia a ser armazenada para a iteração seguinte seja igual ao valor obtido pela referida equação, concluindo-se assim a iteração.

$$Energia_{Após\ Bateria} = Energia_{Bateria(i-1)} - |Energia_{Após\ Renováveis}| \quad (4.9)$$

Onde:

- $Energia_{Após\ Bateria}$  - Energia elétrica disponível ou em déficit após a utilização da energia armazenada na bateria [Wh].

No entanto, se a energia disponível na bateria for inferior ao valor absoluto do balanço energético após o uso da energia proveniente das fontes renováveis, as necessidades elétricas do sistema serão supridas pela rede elétrica nacional.

$$Energia_{Rede} = |Energia_{Após\ Renováveis}| \quad (4.10)$$

Onde:

- $Energia_{Rede}$  - Energia elétrica necessária da rede elétrica nacional para colmatar o remanescente das necessidades elétricas do sistema [Wh].

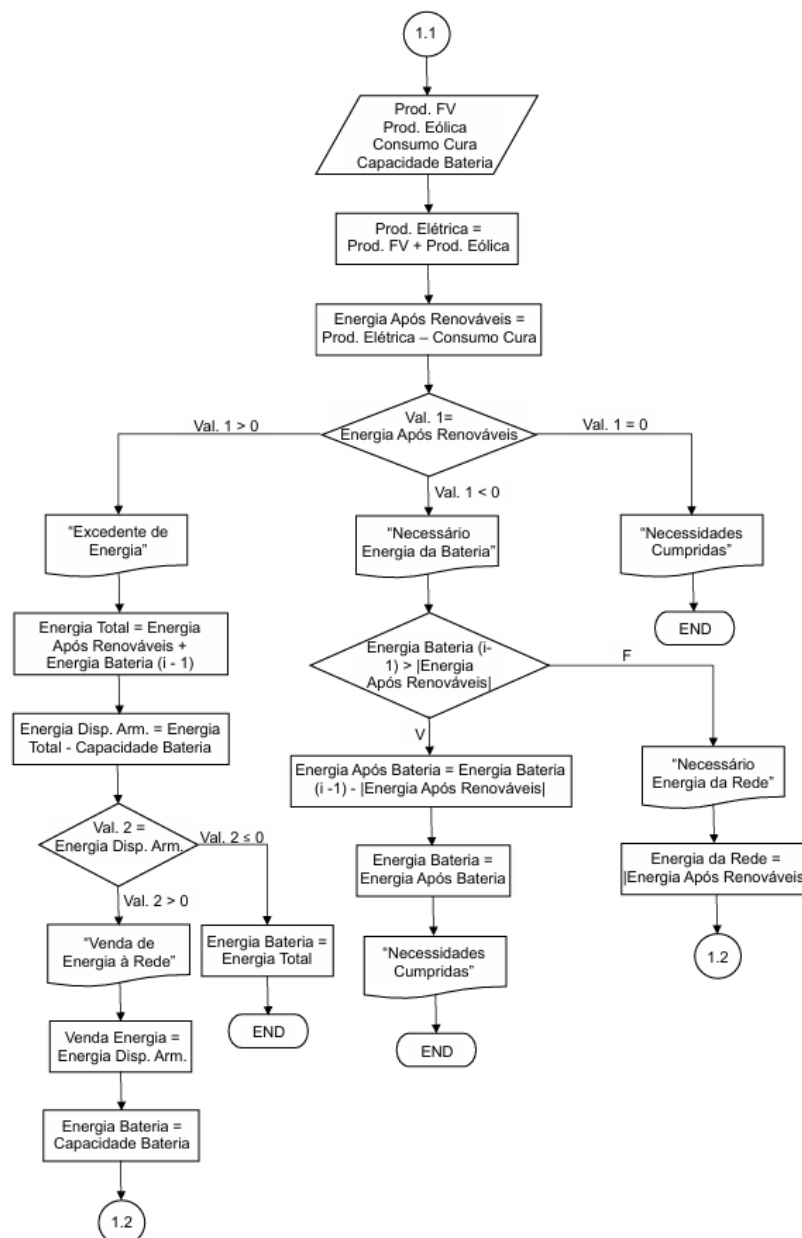


Figura 4.2 - Fluxograma do algoritmo associado ao processo de cura (energia elétrica)

#### 4.2.2 Processo de pasteurização

Na componente do programa de simulação relativa ao processo de pasteurização, o objetivo consiste em programar o funcionamento deste processo, recorrendo à utilização de um dessobreaquecedor integrado na unidade de condensação do sistema de refrigeração da câmara de cura. Este equipamento será responsável pelo aquecimento da água armazenada num tanque de acumulação, o qual, quando necessário, será utilizado para aquecer o leite e manter a sua temperatura estável durante o processo de pasteurização. Contudo, considerando que a energia térmica fornecida pelo dessobreaquecedor poderá não ser suficiente face às elevadas temperaturas requeridas no processo de pasteurização, incorporar-se-á uma caldeira alimentada a pellets como mecanismo de segurança, para produção de energia térmica quando necessário.

O fluxograma da Figura 4.3 ilustra o algoritmo do programa de simulação desenvolvido para a componente do processo de pasteurização do caso de estudo.

À semelhança do que sucede na componente elétrica do sistema, a modelação desta parte iniciou-se com a definição das variáveis de entrada, nomeadamente: os consumos elétricos totais, os consumos na pasteurização, a capacidade do tanque de acumulação, o poder calorífico inferior dos pellets e a eficiência energética da caldeira.

Adicionalmente, definiu-se que, na primeira iteração, a energia térmica presente armazenada no tanque de acumulação seria nula, enquanto a temperatura inicial da água no interior do tanque seria de 15°C estabelecendo-se como objetivo final atingir 70°C.

Na construção do algoritmo referente ao processo de pasteurização, o primeiro passo consistiu no cálculo da energia térmica reaproveitada pelo dessobreaquecedor, através da equação (4.11). Para tal, assumiu-se que 70% do consumo elétrico total do sistema em estudo corresponde à utilização do compressor. Esta consideração, baseia-se no facto de, em indústrias de produção de queijo tradicionais em Portugal, o consumo dos compressores equivale, em média, a 53% do consumo elétrico total (Nunes *et al.*, 2025). Assim, os compressores configuram-se como os equipamentos de maior impacto energético no processo de produção.

Importa salientar, no entanto, que existem diferenças relevantes entre o sistema em análise e as indústrias tradicionais de queijo. Nestes últimos casos, o consumo elétrico total inclui não apenas a energia dedicada diretamente à produção de queijo, mas também os consumos de sistemas auxiliares, tais como climatização (AVAC), iluminação de espaços e outros equipamentos externos, além de englobar o consumo elétrico de diferentes etapas do processo de produção de queijo, como na pasteurização e na coagulação. Já no presente sistema o consumo elétrico considerado refere-se exclusivamente ao processo de cura e a outros equipamentos complementares, como

bombas, circuladores, sensores ou equipamentos de iluminação no interior da câmara de cura. Consequentemente o compressor irá perfazer uma parcela maior do consumo elétrico do sistema.

Quanto ao consumo do dessobreaquecedor, assumiu-se que este equivale a 20% do calor libertado na condensação do fluido frigorígeno, de acordo com recomendações técnicas da literatura (SWEF International AB, 2016).

$$Energia_{Dessobreaquecedor} = 0,2 \cdot (Potência_{Frigorífica} + Potência_{Compressor}) = 0,2 \cdot ((COP \cdot (0,7 \cdot Consumo_{Cura})) + (0,7 \cdot Consumo_{Cura})) \quad (4.11)$$

Onde:

- Energia<sub>Dessobreaquecedor</sub> - Energia produzida pelo dessobreaquecedor [Wh];
- Potência<sub>Frigorífica</sub> - Energia absorvida pelo sistema de refrigeração [Wh];
- Potência<sub>Compressor</sub> - Energia consumida pelo compressor [Wh];
- Consumo<sub>Cura</sub> - Consumo elétrico do sistema [Wh].

Com a energia térmica proveniente do dessobreaquecedor já calculada, é possível determinar a energia total passível de ser armazenada no tanque de acumulação. Para tal, procede-se ao cálculo, apresentado na equação (4.12), no qual se considera não apenas a energia disponibilizada no dessobreaquecedor, mas também a energia previamente acumulada no tanque em interações anteriores.

$$Energia_{Total} = Energia_{Dessobreaquecedor} + Energia_{Tanque\ Acumulação\ (i-1)} \quad (4.12)$$

Onde:

- Energia<sub>Total</sub> - Energia passível de armazenar no tanque de acumulação [Wh];
- Energia<sub>Tanque Acumulação (i-1)</sub> - Energia armazenada no tanque de acumulação, na iteração anterior [Wh].

No entanto, à semelhança do que ocorre na componente elétrica do sistema com a bateria, também na componente térmica do sistema, deve-se levar em consideração a capacidade máxima, de energia térmica, do tanque de acumulação. Esta capacidade foi determinada através da equação (3.3), utilizando as condições previamente estabelecidas: capacidade do tanque de 500 litros, temperatura inicial da água de 15°C, temperatura final pretendida de 70°C e calor específico da água de 4,186 kJ/kgK. A aplicação da equação (3.3) resulta numa capacidade máxima de armazenamento de energia térmica de 31.976,389 Wh.

Sabendo a capacidade energética máxima do depósito e, utilizando a equação (4.12), se o valor de energia calculado for superior a 31.976,389 Wh, a energia efetivamente armazenada no depósito será limitada à capacidade máxima, sendo que o excedente energético do tanque será desperdiçado. Por outro lado, se o valor obtido da equação (4.12) for inferior a 31.976,389 Wh, então a energia armazenada será igual ao valor da Energia<sub>Total</sub>.

Na sequência, da análise do perfil de funcionamento do processo de pasteurização permite concluir que, nos períodos em que não existe consumo energético, o sistema

limita-se a armazenar energia térmica no tanque de acumulação, momento em que o programa de simulação é interrompido. Contudo, sempre que houver necessidade de energia térmica para a realização do processo de pasteurização, o sistema recorrerá prioritariamente à energia previamente armazenada no depósito.

Quando acontece o processo de pasteurização (ou seja, consumo térmico superior a zero), torna-se necessário verificar se a energia disponível no tanque de acumulação é suficiente para colmatar as necessidades energéticas desse processo. Esta verificação deve ser efetuada através da equação (4.13).

$$Energia_{Após\ Tanque} = Energia_{Tanque\ Acumulada} - Consumo_{Pasteurização} \quad (4.13)$$

Onde:

- $Energia_{Após\ Tanque}$  - Energia térmica disponível ou em déficit após a utilização da energia armazenada no tanque de acumulação [Wh];
- $Energia_{Tanque\ Acumulada}$  - Energia armazenada no tanque de acumulação [Wh];
- $Consumo_{Pasteurização}$  - Consumo do processo de pasteurização [Wh].

Após a determinação do valor resultante da equação (4.13), se o valor for superior a zero, conclui-se que a energia armazenada é suficiente para suprir as necessidades térmicas do processo de pasteurização. Neste cenário a iteração é encerrada e a energia armazenada disponível para a próxima iteração será igual ao valor obtido pela equação (4.13).

Por outro lado, se o valor calculado pela equação (4.13) for inferior a zero, considera-se que a energia armazenada no depósito se encontra esgotada, sendo, portanto, necessário recorrer à utilização da caldeira de pellets para fornecer a energia adicional indispensável à conclusão do processo de pasteurização.

Com o intuito de assegurar a disponibilidade da energia térmica necessária, para colmatar as necessidades energéticas da pasteurização, torna-se imprescindível a determinação da quantidade mínima de pellets necessária que permitirá alcançar esse objetivo.

Para esse efeito, sabendo a energia térmica a produzir, para o cálculo da quantidade de pellets necessária exige, primeiramente, o conhecimento do poder calorífico inferior dos pellets (16 MJ/kg) e a eficiência energética da caldeira (93,1%). Com base nestes parâmetros, a quantidade de pellets necessária para a produção da energia térmica em falta é determinada através da equação (4.14).

$$Quantidade_{Pellets} = \frac{Energia_{Após\ Tanque}}{PCI_{Pellets} \cdot \eta_{Caldeira}} \quad (4.14)$$

Onde:

- $Quantidade_{Pellets}$  - Quantidade de pellets necessária para suprir o remanescente do consumo da pasteurização [kg];
- $PCI_{Pellets}$  - Poder calorífico inferior das pellets [MJ/kg];
- $\eta_{Caldeira}$  - Eficiência energética da caldeira de pellets [%].

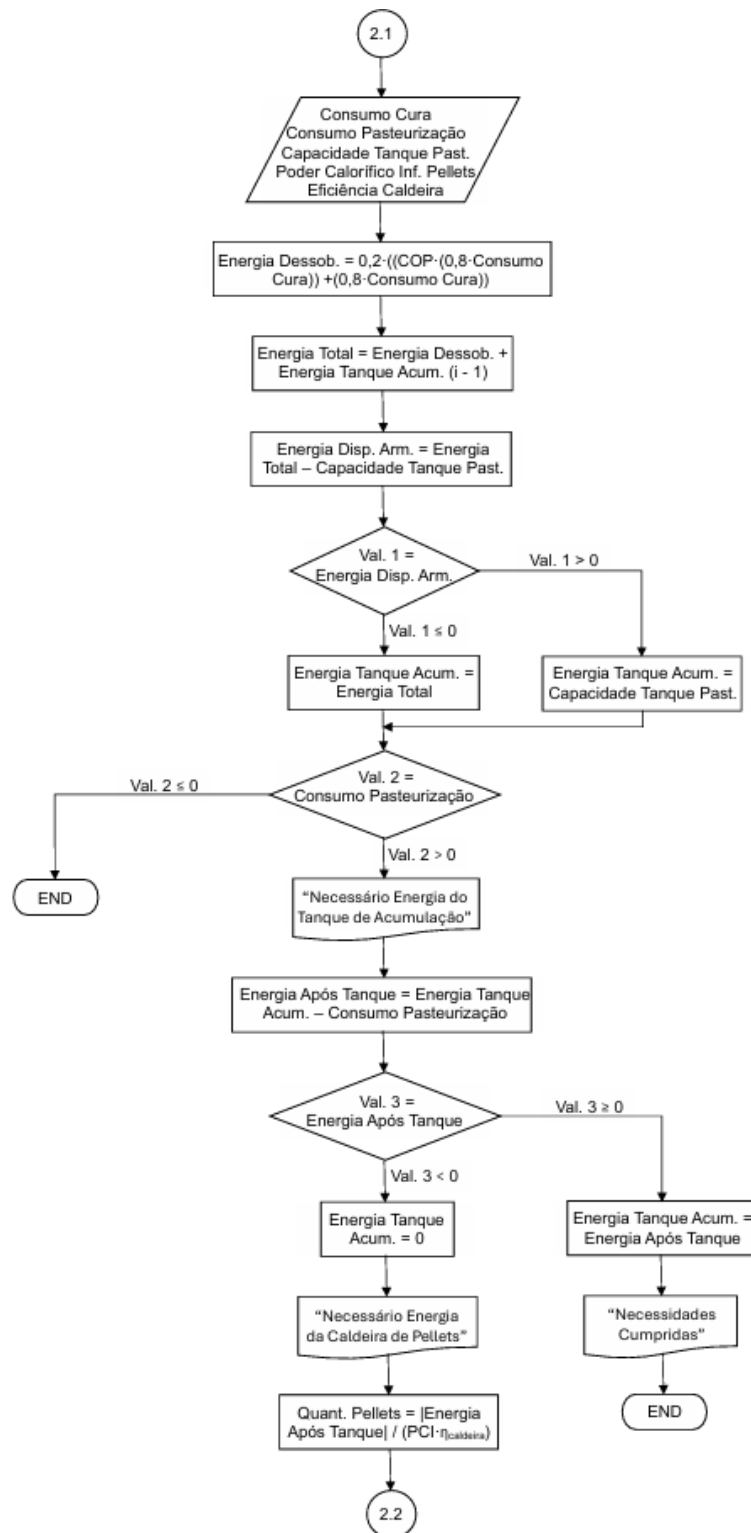


Figura 4.3 - Fluxograma do algoritmo associado ao processo de pasteurização.

#### 4.2.3 Processo de coagulação

Por último, na componente da aplicação informática relativa à coagulação, o programa irá simular o funcionamento do processo de coagulação do leite para o caso em estudo. Nesta etapa, o aquecimento da água no interior do tanque de acumulação, responsável por manter o leite a uma temperatura constante durante o processo de coagulação, é

realizado por dois coletores solares, recorrendo à energia solar como fonte primária de produção de energia térmica.

A Figura 4.4 apresenta o algoritmo desenvolvido no programa para representar o funcionamento do processo de coagulação. Tal como nas etapas anteriores do programa, o primeiro passo consiste na definição as variáveis de entrada, que incluem a produção solar térmica, os consumos energéticos da coagulação e a capacidade energética máxima do tanque de acumulação.

De forma análoga ao procedimento adotado para o processo de pasteurização, também para o processo de coagulação definiu-se que, na primeira iteração, a energia térmica presente no tanque de acumulação seria nula e que as temperaturas iniciais e finais da água no interior do tanque seriam de 15°C e 40°C, respetivamente.

Relativamente à produção solar térmica, estes foram calculados com base da equação (3.1), considerando as especificações técnicas dos coletores solares selecionados bem como os valores referentes à radiação solar do Sistema de Informação Geográfico da Comissão Europeia (Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação, 2024a).

Conhecidos os valores da produção solar térmica, por hora, pode-se calcular a energia total passível de armazenar no tanque de acumulação, através da equação (4.15).

$$Energia_{Total} = Prod.Solar Térmica + Energia_{Tanque Acumulação(i-1)} \quad (4.15)$$

Onde:

- Energia<sub>Total</sub> - Energia passível de armazenar no tanque de acumulação [Wh];
- Prod.Solar Térmica - Energia produzida pelos coletores solares [Wh];
- Energia<sub>Tanque Acumulação (i-1)</sub> - Energia armazenada no tanque de acumulação, na iteração anterior [Wh].

Posteriormente, de forma análoga ao procedimento adotado na etapa do programa relativa ao processo de pasteurização, torna-se necessário considerar a capacidade energética máxima do tanque de acumulação. Assim, tendo em conta as condições previamente estabelecidas (temperatura inicial da água no interior do tanque de 15°C e temperatura final de 40°C) e a capacidade do tanque de 300 litros, com a aplicação da equação (3.3) tem-se uma capacidade energética máxima de 8.720,833 Wh.

Conhecida a capacidade máxima do tanque e o valor de energia calculado através da equação (4.15), verificam-se duas situações distintas:

1. Se o valor de energia calculado for superior a 8.720,833 Wh, a energia armazenada no tanque será limitada à capacidade energética máxima.
2. Se o resultado da equação (4.15) for inferior a 8.720,833 Wh, então a energia armazenada será igual ao valor da Energia<sub>Total</sub> obtida no cálculo.

Na sequência, ao analisar o perfil estabelecido para o processo de coagulação, observa-se que, nos períodos sem ocorrência da coagulação, o sistema acumula energia térmica no tanque e, a aplicação informática termina nesse momento. Contudo, no período em que se verifica a ocorrência da coagulação (consequentemente, uma demanda de energia térmica) o sistema recorrerá a energia previamente acumulada no tanque. Para

assegurar que quantidade de energia armazenada é suficiente para suprir as necessidades energéticas do processo de coagulação, procede-se à verificação por meio da equação (4.16).

$$Energia_{Após\ Tanque} = Energia_{Total} - Consumo_{Coagulação} \quad (4.16)$$

Onde:

- $Energia_{Após\ Tanque}$  - Energia térmica disponível ou em déficit após a utilização da energia armazenada no tanque de acumulação [Wh];
- $Consumo_{Coagulação}$  - Consumo do processo de coagulação [Wh].

Uma vez que o sistema de produção de queijo do projeto CASEUS foi desenvolvido segundo o princípio de que os dois coletores solares seriam capazes de fornecer energia térmica suficiente para satisfazer, na sua totalidade, as necessidades energéticas do processo de coagulação, sem recorrer a um sistema de reserva (backup), espera-se que os valores resultantes da equação (4.16) sejam superiores a zero. Neste cenário, a energia armazenada para a iteração subsequente será equivalente ao valor obtido no referido cálculo, através da mesma equação, conduzindo ao encerramento da simulação.

Contudo, no caso improvável, de o valor da equação (4.16) se revelar inferior a zero, considera-se que a energia armazenada no tanque passará a ser nula e que o programa terminará sem a realização do processo de coagulação.

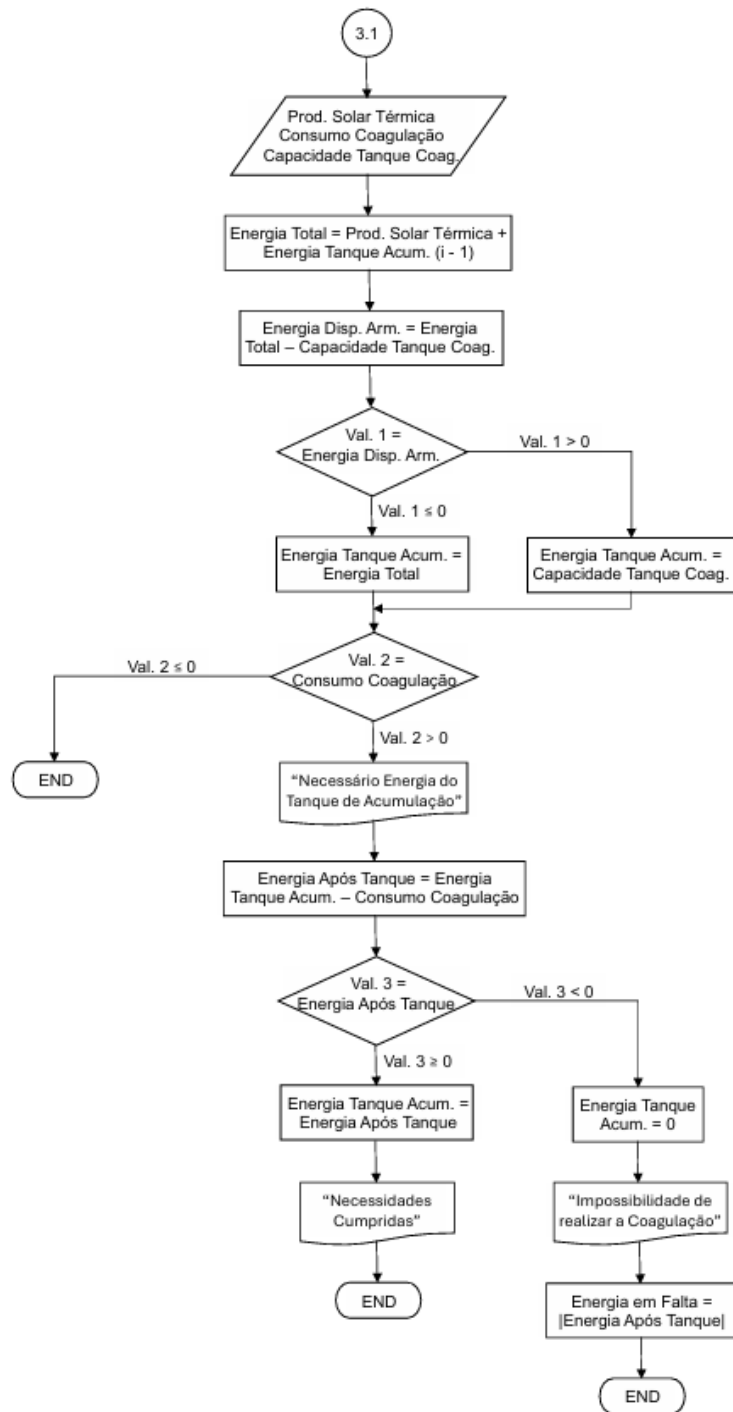


Figura 4.4 - Fluxograma do algoritmo associado ao processo de coagulação.

#### 4.2.4 Interface gráfica do utilizador

A aplicação informática desenvolvida com base no algoritmo definido neste capítulo está organizada em cinco módulos: três dedicados à introdução de dados de entrada por parte do utilizador e dois referentes à apresentação de resultados. O primeiro módulo permite a inserção dos dados técnicos relativos aos equipamentos utilizados na unidade de produção de queijo em estudo, bem como a indicação do período correspondente à semana em análise (Verão - de 1 de abril a 30 de setembro; Inverno - de 1 de janeiro a 31 de março e de 1 de outubro a 31 de dezembro) e do preço de venda da eletricidade

à rede nessa mesma semana (OMIE). No final deste módulo, um botão de navegação permite ao utilizador avançar para a secção seguinte. A Figura 4.5 ilustra esta interface, apresentando, como exemplo, as especificações técnicas dos equipamentos utilizados neste estudo, assim como o preço de venda de energia correspondente à semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025.

Aplicação Informática para Integração de Energias Renováveis na Indústria Queijeira Equipamentos e Preços de Eletricidade		
<b>Preços de Eletricidade</b>		
OMIE (€/kWh):	<input type="text" value="0,0347"/>	Período: <input type="text" value="Verão"/>
<b>Painéis Solares Fotovoltáicos</b>		
Número de Painéis:	<input type="text" value="10"/>	Área dos Painéis Solares (m <sup>2</sup> ): <input type="text" value="2,564"/>
		Eficiência do Painel (%): <input type="text" value="0,213"/>
<b>Turbina Eólica</b>		
	Diâmetro do Rotor (m): <input type="text" value="1,32"/>	
<b>Coletores Solares</b>		
Número de Painéis:	<input type="text" value="2"/>	Área dos Coletores Solares (m <sup>2</sup> ): <input type="text" value="2,37"/>
		Eficiência do Painel (%): <input type="text" value="0,766"/>
<b>Caldeira de Pellets</b>		
	Eficiência da Caldeira (%): <input type="text" value="0,931"/>	
<b>Bateria</b>		
	Capacidade Utilizável (Wh): <input type="text" value="5200"/>	
<b>Tanque de Acumulação - Pasteurização</b>		
Volume (L):	<input type="text" value="500"/>	Temperatura Final da Água (°C): <input type="text" value="70"/>
		Temperatura Inicial da Água (°C): <input type="text" value="15"/>
<b>Tanque de Acumulação - Coagulação</b>		
Volume (L):	<input type="text" value="300"/>	Temperatura Final da Água (°C): <input type="text" value="40"/>
		Temperatura Inicial da Água (°C): <input type="text" value="15"/>
<input type="button" value="Seguinte"/>		

Figura 4.5 - Secção da aplicação informática referente à introdução dos dados técnicos dos equipamentos do sistema e ao preço de venda da eletricidade à rede.

Após a introdução dos dados relativos aos equipamentos, o programa avança para uma nova secção, na qual o utilizador deve fornecer os conjuntos de dados de radiação solar e de velocidade do vento correspondentes ao período semanal em análise. Concluída a introdução destes dados, o utilizador pode prosseguir para o módulo seguinte através da seleção do comando “Seguinte”. A Figura 4.6 apresenta este módulo do programa, exibindo, a título de exemplo, os valores de radiação solar e de velocidade do vento correspondentes à semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025.

		Aplicação Informática para Integração de Energias Renováveis na Indústria Queijeira	
		Condições Atmosféricas	
		Radiação Solar (W/m <sup>2</sup> )	Velocidade do Vento (m/s)
Segunda-Feira	00:00	0	2,41
	01:00	0	2,34
	02:00	0	2,21
	03:00	0	2,07
	04:00	0	1,93
	05:00	52,91	1,66
	06:00	150,79	2,28
	07:00	181,29	2,14
	08:00	524,26	2
	09:00	624,42	2,21
	10:00	753,31	2,69
	11:00	406,76	3,24
	12:00	228,27	3,72
	13:00	84,79	4,21
	14:00	104,35	3,66
	15:00	343,66	2,76
	16:00	311,78	2,76
	17:00	119,86	2,48
	18:00	24,69	2
	19:00	0	1,17
	20:00	0	0,55
	21:00	0	0,21
	22:00	0	0,14
23:00	0	0,48	
Terça-Feira	00:00	0	0,9
	01:00	0	1,17
	02:00	0	1,1
	03:00	0	0,83
	04:00	0	0,76
	05:00	54,67	0,48
	06:00	193,85	0,07
	07:00	429,87	0,48
	08:00	567,89	1,1
	09:00	339,92	0,9
	10:00	479,01	1,1

Figura 4.6 - Secção da aplicação informática referente à introdução de dados sobre as condições atmosféricas.

Por último, antes da execução da simulação, o utilizador deve introduzir os valores correspondentes ao consumo elétrico do sistema e aos consumos térmicos associados aos processos de pasteurização e coagulação. Uma vez definidos estes parâmetros, a simulação da unidade de produção de queijo pode ser iniciada através da seleção do comando “Simular”. Em conformidade com a secção anterior, os dados apresentados na Figura 4.7 correspondem ao período compreendido entre 26 de maio e 1 de junho de 2025.

Além disso, estas secções da aplicação informática dedicadas à introdução de dados possuem também um comando denominado “Anterior”, que facilita a navegação entre elas caso o utilizador necessite de alterar os dados do sistema.

Aplicação Informática para Integração de Energias Renováveis na Indústria Queijeira				
Consumos Energéticos				
	Consumo Elétrico (Wh)	Consumo Pasteurização (Wh)	Consumo Coagulação (Wh)	
Segunda-Feira	00:00	300	0	0
	01:00	400	0	0
	02:00	400	0	0
	03:00	500	0	0
	04:00	340	0	0
	05:00	340	0	0
	06:00	240	0	0
	07:00	400	0	0
	08:00	400	8736	0
	09:00	600	0	0
	10:00	400	0	4704
	11:00	500	0	0
	12:00	500	0	0
	13:00	600	0	0
14:00	900	0	0	
15:00	1000	0	0	
16:00	900	0	0	
17:00	1000	0	0	
18:00	1000	0	0	
19:00	800	0	0	
20:00	500	0	0	
21:00	400	0	0	
22:00	500	0	0	
23:00	400	0	0	
Terça-Feira	00:00	400	0	0
	01:00	400	0	0
	02:00	400	0	0
	03:00	300	0	0
	04:00	300	0	0
	05:00	400	0	0
	06:00	300	0	0
	07:00	300	0	0
	08:00	300	8736	0
	09:00	400	0	0
10:00	500	0	4704	

Anterior      Simular

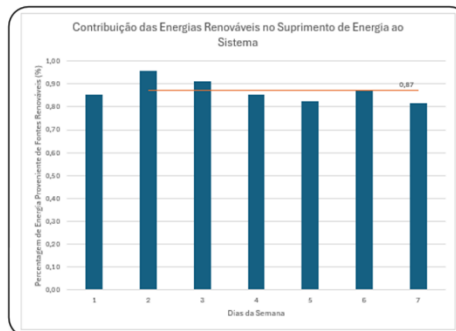
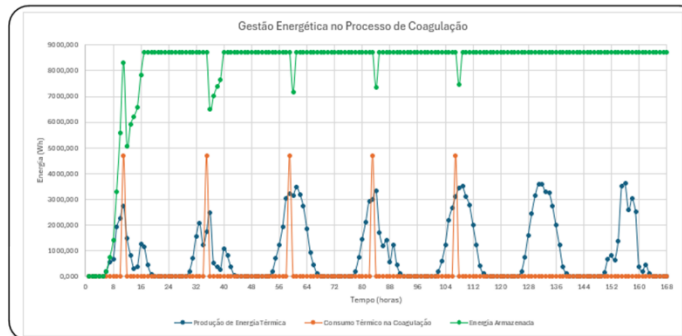
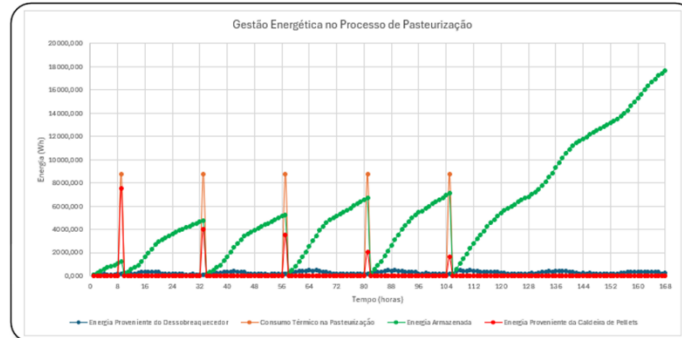
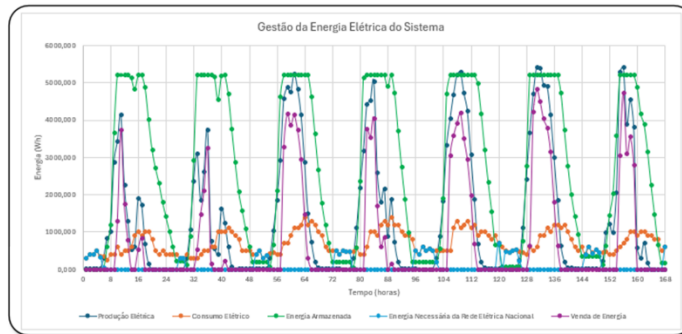
Figura 4.7 - Secção da aplicação informática referente à introdução de dados sobre os consumos energéticos.

Após a introdução de todos os dados necessários à simulação da unidade queijeira, a aplicação informática apresenta uma secção que resume os principais resultados da simulação, nomeadamente o custo ou lucro operacional semanal, a pegada ecológica da unidade na semana em análise e a viabilidade económica do sistema. A Figura 4.8 apresenta a interface da aplicação correspondente a esta secção.

Aplicação Informática para Integração de Energias Renováveis na Indústria Queijeira		
Resultados		
<b>Custo ou Lucro Total do Sistema (€/semana)</b>	<b>Pegada Ecológica do Sistema (kg<sub>CO2</sub>e/semana)</b>	<b>Viabilidade Económica do Sistema (anos)</b>
<b>-0,8561</b>	<b>2,261</b>	<b>25,59</b>
<span>Gráficos</span>		

Figura 4.8 - Secção da aplicação informática referente à apresentação dos principais resultados da simulação.

Caso o utilizador necessite de uma análise mais detalhada da gestão energética dos processos de produção e conservação de queijo, a seleção do comando “Gráficos” abre uma secção final (Figura 4.9), apresentando vários gráficos para análise: um referente à gestão elétrica do sistema, dois relativos à gestão da energia térmica nos processos de pasteurização e de coagulação e outro referente à contribuição das fontes de energia renovável no fornecimento de eletricidade à unidade de produção de queijo.



Resultados

Figura 4.9 - Secção da aplicação informática referente à apresentação dos gráficos de gestão energética do sistema.

## 5 Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação informática desenvolvida, cujo objetivo principal consiste em analisar a gestão da utilização da energia renovável produzida para suprir as necessidades energéticas de cada processo da unidade queijeira em estudo. Pretende-se, assim, verificar se os processos podem ser realizados com sucesso, assegurando a minimização do recurso à energia proveniente da rede elétrica e à da queima de pellets. Adicionalmente, são também apresentados os custos associados a uma semana de produção de queijo na unidade em estudo.

Com foco nos objetivos da presente dissertação, neste capítulo serão realizados vários ensaios com o propósito de testar a aplicação informática e o protótipo da unidade queijeira, de modo a avaliar o seu desempenho sob diferentes condições ambientais, produtivas e geográficas. Para todos esses cenários, foram utilizados os equipamentos do protótipo descritos no Capítulo 3.

No primeiro ensaio, procede-se à análise do funcionamento do protótipo na sua localização real (Instituto Politécnico de Beja), considerando a semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025.

A partir deste caso de referência, serão definidos três outros casos de estudo, nos quais ocorrerão condições atmosféricas adversas, como sombreamento intenso nos painéis fotovoltaicos, baixa radiação solar ou ausência de vento, de forma a compreender como a aplicação informática realiza a gestão energética da unidade de produção de queijo para tais situações e avaliar a influência da produção de energia de cada equipamento no desempenho global do sistema.

Num segundo ensaio, pretende-se avaliar o funcionamento da unidade em estudo para uma época do ano distinta, caracterizada por diferentes condições climáticas e por uma quantidade de produção de queijo distinta. Para isso, o ensaio será realizado na mesma localização, mas considerando a semana de 3 de fevereiro a 9 de fevereiro de 2025.

Por fim, num terceiro ensaio, será estudada a viabilidade da implementação da unidade queijeira proposta numa outra região, pelo que se realizará um ensaio para a Serra da Estrela, na semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025.

Para além da análise destes ensaios, será efetuada a comparação entre os resultados obtidos na aplicação informática com os resultados experimentais recolhidos no protótipo implementado no âmbito do projeto CASEUS, de forma a verificar a fidedignidade das previsões do modelo. Pretende-se, ainda, comparar os consumos energéticos obtidos pelo modelo e pelo protótipo com os registados em unidades queijeiras tradicionais de modo a avaliar os ganhos energéticos e de eficiência da solução proposta.

Por fim, procede-se a uma análise económica da implementação de uma unidade queijeira idêntica à estudada, de forma a determinar o tempo de retorno do investimento (*payback*) e avaliar a viabilidade da solução proposta.

### 5.1 Caso 1 - Protótipo CASEUS (26 de maio a 1 de junho de 2025)

Tal como já referido anteriormente, o primeiro ensaio foi realizado na localização real do protótipo do projeto CASEUS, ou seja, no Instituto Politécnico de Beja, durante a semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025. Neste período, verificou-se uma produção diária (em dias úteis) de 24 kg de queijo.

Com base nesta informação, procedeu-se à determinação dos consumos térmicos associados aos processos de pasteurização e coagulação. Em paralelo, foram igualmente recolhidos os dados referentes aos consumos elétricos do sistema (SolaX Power, 2025), bem como os dados relativos à radiação solar e à velocidade do vento (Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação, 2024a), possibilitando a estimativa da energia produzida pelos diferentes equipamentos.

Todos os valores obtidos para as variáveis mencionadas, assim como os respetivos perfis temporais, encontram-se apresentados nos Anexos.

Em seguida, apresentam-se na Figura 5.1, os resultados referentes à gestão da energia elétrica do sistema, com o objetivo de suprir as necessidades energéticas associadas ao processo de cura, bem como ao funcionamento dos demais equipamentos elétricos que integram a unidade. Na Figura 5.1 pode-se observar a produção elétrica proveniente dos painéis fotovoltaicos e da turbina eólica (curva azul escura), o consumo elétrico do sistema (curva laranja), a energia armazenada na bateria (curva verde), a energia remanescente proveniente da rede elétrica nacional (curva azul clara) e o excedente de energia vendido à rede (curva roxa). Importa ainda salientar que o gráfico da Figura 5.1 representa a gestão da energia elétrica do sistema numa base semanal, iniciando-se a semana à segunda-feira, à meia-noite, tal como acontecerá para os restantes gráficos apresentados neste capítulo.

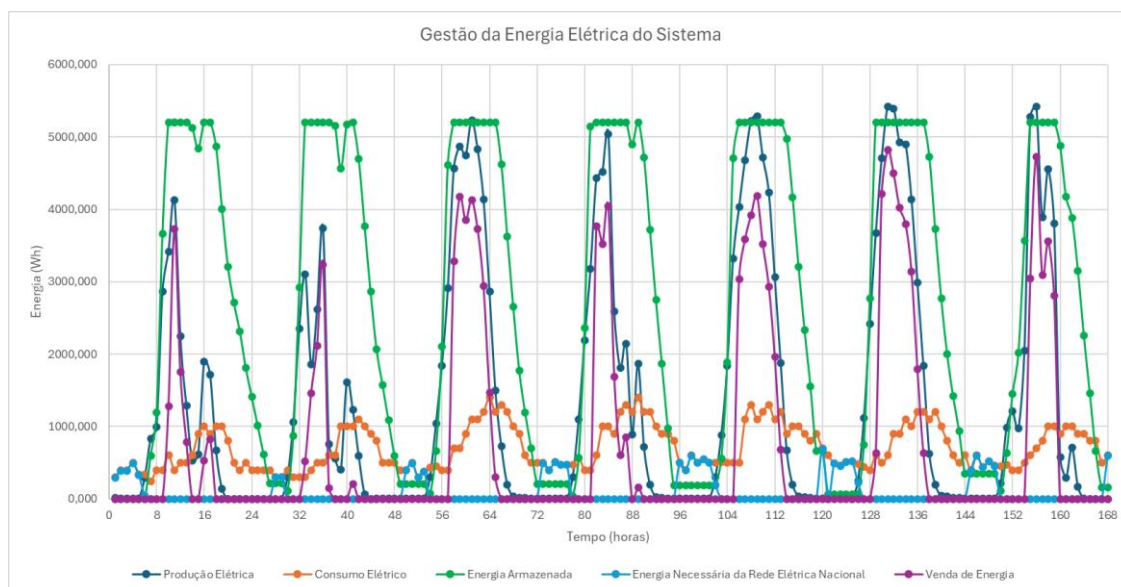


Figura 5.1 - Gestão da energia elétrica do sistema para o caso 1.

A análise do gráfico da Figura 5.1, permite concluir que o sistema apresenta um nível de autossuficiência bastante elevado aproximando-se da totalidade. Contudo, verifica-se a necessidade de recorrer à energia da rede, sobretudo durante o período noturno. Tal situação pode ser justificada pela ausência de radiação solar, que inviabiliza a produção de energia pelos painéis fotovoltaicos e, pela reduzida velocidade do vento, que não possibilita uma geração eólica suficiente para colmatar as necessidades energéticas do sistema nesses intervalos de tempo.

Adicionalmente, verifica-se que, ao longo do dia, a produção elétrica do sistema é superior ao seu consumo, o que conduz ao armazenamento do excedente energético na bateria, que atinge a sua capacidade máxima de 5200 Wh diariamente, e à venda de energia à rede, quando a bateria está totalmente carregada. Posteriormente, no período noturno (a partir das 18h até às 6h do dia seguinte), quando a produção elétrica é reduzida, a energia armazenada é utilizada para suprir parcialmente as necessidades elétricas do sistema. Assim, conclui-se que, com a incorporação de uma bateria adicional, ou com a substituição da bateria atual por outra de maior capacidade, seria possível aumentar o grau de autossuficiência reduzindo ou mesmo eliminando a necessidade de recurso à energia da rede.

A Figura 5.2 apresenta um gráfico referente às percentagens diárias da contribuição que a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos e pela turbina eólica tem no suprimento das necessidades elétricas do sistema. O gráfico da Figura 5.2 começa à segunda-feira (dia 1) e termina no domingo (dia 7). Este gráfico tem como objetivo reforçar a conclusão verificada na análise da Figura 5.1, de que o sistema apresenta um elevado grau de autossuficiência, registando uma contribuição mínima de 81,5%, no domingo, e máxima de 95,7%, na terça-feira, das energias renováveis no suprimento de energia elétrica ao sistema.

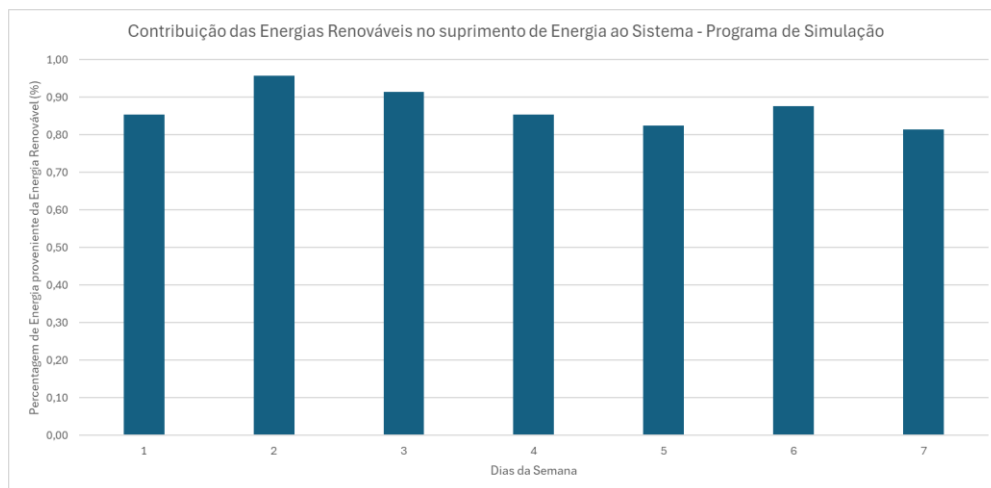


Figura 5.2 - Contribuição das energias renováveis no suprimento de energia ao sistema para o caso 1.

De seguida, na Figura 5.3 encontram-se apresentados os resultados relativos à gestão realizada para o processo de pasteurização do sistema, como a energia reaproveitada pelo dessobreaquecedor (curva azul), o consumo térmico do processo de pasteurização (curva laranja), a energia armazenada no depósito de acumulação (curva verde) e a energia proveniente da caldeira de pellets (curva vermelha).

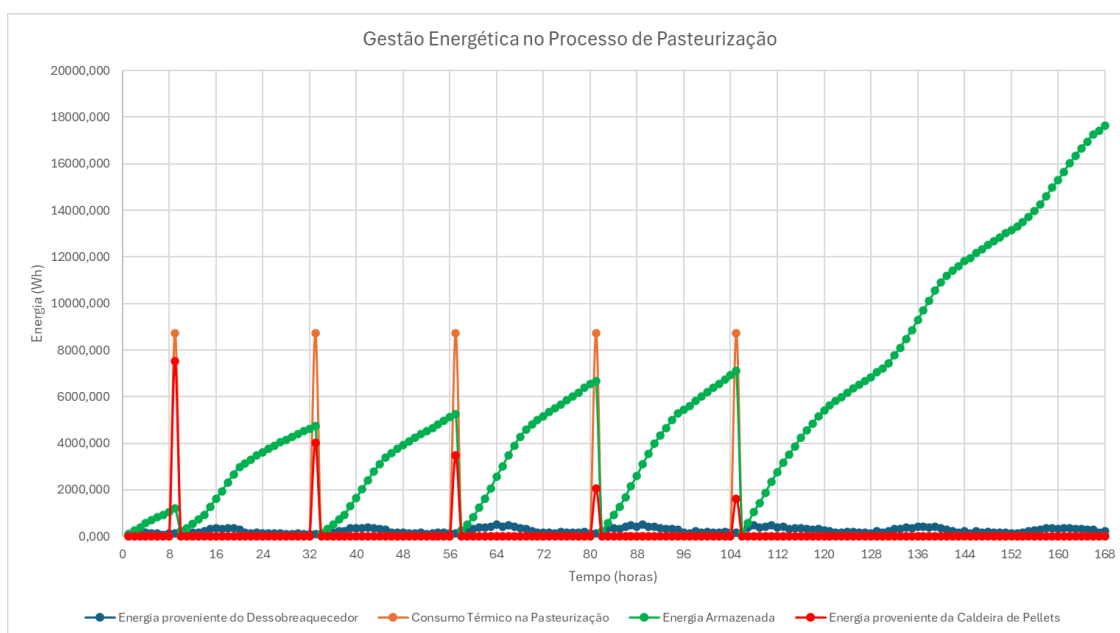


Figura 5.3 - Gestão energética no processo de pasteurização do sistema para o caso 1.

A análise do gráfico da Figura 5.3 revela que a quantidade de energia recuperada pelo dessobreaquecedor, numa base horária, é relativamente reduzida. Contudo, ao longo do dia, essa recuperação energética possibilita o armazenamento, no depósito de acumulação, de uma quantidade de energia suficiente de suprir uma parte significativa das necessidades do processo de pasteurização.

Apesar desse contributo, verificou-se que, durante a primeira semana de funcionamento do sistema em estudo, a energia armazenada no tanque foi insuficiente para satisfazer integralmente as necessidades energéticas do processo de pasteurização. Assim, a

produção complementar de energia térmica a partir da biomassa, por meio da queima de pellets na caldeira, mostrou-se essencial para assegurar o sucesso deste processo. Importa ainda destacar que, conforme indicado no gráfico da Figura 5.3 e referido anteriormente, o processo de pasteurização ocorre apenas nos dias úteis. Desta forma, durante o fim-de-semana existe a possibilidade de acumular quantidades mais elevadas de energia. Assim, na semana subsequente, é expectável que a utilização da caldeira seja significativamente reduzida, evidenciando o impacto positivo da gestão temporal da produção e do consumo energético.

A seguir, a Figura 5.4 apresenta os resultados obtidos relativos à gestão do processo de coagulação do sistema. Este gráfico ilustra as variações semanais das necessidades energéticas associadas ao processo de coagulação, como é visível na curva laranja, bem como as variações da produção de energia pelos coletores solares (curva azul) e da energia armazenada no tanque de acumulação (curva verde).

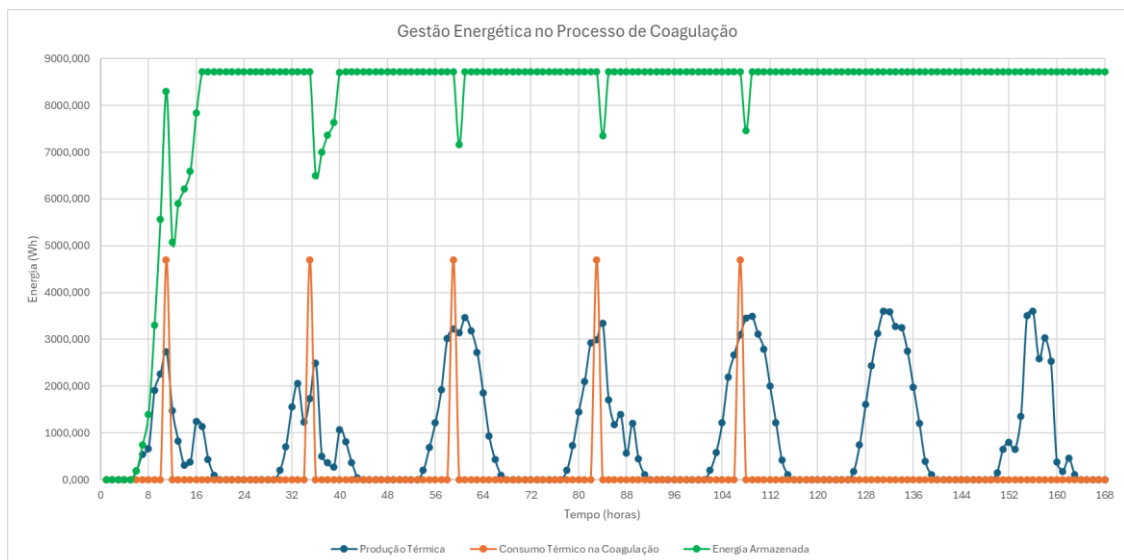


Figura 5.4 - Gestão energética no processo de coagulação do sistema para o caso 1.

Através da análise do gráfico da Figura 5.4 observa-se que a produção de energia solar térmica, ao longo do dia, proveniente dos dois coletores do sistema, é suficiente para armazenar, no tanque de acumulação, energia necessária para realização do processo de coagulação sem qualquer incidente, em todos os dias avaliados. Este resultado verifica-se mesmo no primeiro dia de funcionamento do sistema em estudo, no qual não existia energia previamente acumulada.

Desta forma, conclui-se que a solução apresentada na presente dissertação, baseada na utilização de dois coletores solares para suprir integralmente as necessidades energéticas do processo de coagulação, revelou-se eficaz. Contudo para unidades queijeiras industriais de maior dimensão, com níveis diários de produção de queijo mais elevados, ter-se-ia de proceder a alguns ajustes, nomeadamente a implementação de um maior número de coletores solares, com o intuito de garantir o mesmo nível de desempenho energético.

Adicionalmente, a aplicação informática possibilitou determinar os custos de eletricidade provenientes da rede elétrica, considerando todas as tarifas disponíveis: simples, bi-horária e tri-horária, com base nos dados apresentados na Tabela 4.1 e na Tabela 4.2. Este procedimento permitiu identificar a tarifa que proporciona o menor custo, ou seja, a opção economicamente mais vantajosa. A Tabela 5.1 apresenta os custos para cada uma das tarifas aplicadas.

Tabela 5.1 - Custos elétricos para as diferentes tarifas aplicáveis para o caso 1.

Custos elétricos provenientes da rede elétrica nacional (€)		
Tarifa Simples	Tarifa Bi-Horária	Tarifa Tri-Horária
2,5760	1,8085	1,7810

A análise da Tabela 5.1 evidencia uma diferença considerável de custos entre a tarifa simples e as restantes. Por outro lado, verifica-se que diferença de custos entre a tarifa bi-horária e a tri-horária é bastante reduzida, sendo esta última a que exhibe um custo menor, pelo que esta será a tarifa selecionada para aplicação no sistema, neste ensaio. Para além disso, com o auxílio da Tabela 4.5 e dos dados recolhidos referentes ao custo por kg de pellets, foi então possível à aplicação informática estimar o preço total a pagar associado ao presente ensaio. A Tabela 5.2 apresenta os valores obtidos para a semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025.

Tabela 5.2 - Preço a pagar para o caso 1.

Preços de Energia (€)	
Custo de Energia da Rede	1,7810
Custo de Energia da Biomassa	1,655
Preço da Venda de Energia	4,292
Preço Total a Pagar	-0,8561

Ao analisar os valores da Tabela 5.2 pode-se concluir que, para o presente ensaio, a receita obtida pela venda de energia à rede foi superior ao custo associado ao consumo de energia proveniente da rede e à aquisição da quantidade de pellets utilizados. Logo, pode-se concluir que para a semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025, o sistema apresentou um lucro energético de 0,8561€.

Por fim, a aplicação informática ainda fornece as emissões equivalentes de CO<sub>2</sub> do sistema para o presente ensaio, sendo que este valor foi de 2,261 kg CO<sub>2</sub>e.

### 5.1.1 Variações do caso 1 (alterações atmosféricas adversas)

O presente ensaio tem como objetivo avaliar o comportamento do sistema em estudo perante a eventual ocorrência de alterações atmosféricas adversas, como a existência de dias nublados com um sombreamento intenso sob os painéis solares, uma baixa radiação solar ou a ausência de vento, de modo a analisar o impacto, que teria a inexistência de produção de energia, num dia do ensaio.

Para este ensaio, definiu-se no programa de simulação que, para quinta-feira (meio da semana) a produção horária de energia solar (tanto elétrica como térmica) e de energia eólica seria igual a zero.

Com esta alteração na aplicação informática, os dados relativos à gestão da energia elétrica do sistema para este cenário são apresentados na Figura 5.5., onde se verifica que, na quinta-feira (das 73h às 96h), a produção de energia elétrica (curva azul escura) é nula.

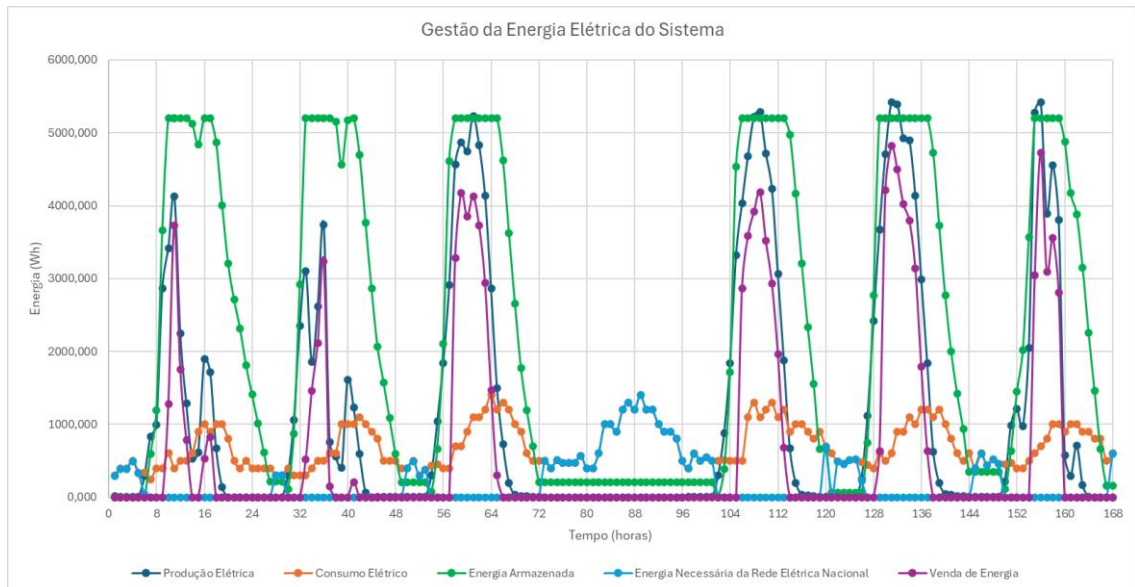


Figura 5.5 - Gestão da energia elétrica do sistema para o caso 1 com condições atmosféricas adversas.

A análise do gráfico da Figura 5.5, permite concluir que, para o período correspondente à quinta-feira, em que não existiu produção de energia para autoconsumo, houve uma dependência do sistema em utilizar energia da rede elétrica nacional durante todo o dia. Observa-se, ainda, que a energia armazenada na bateria (curva verde) não foi suficiente para suprir as necessidades elétricas do sistema naquele dia, uma vez que parte dessa energia acumulada foi utilizada para atender às necessidades do sistema para o período noturno anterior à aparição de condições atmosféricas adversas. Assim, conclui-se que em cenários, em que não exista a possibilidade de produção de energia renovável, pela existência de condições meteorológicas desfavoráveis, apenas uma bateria não será suficiente para garantir o suprimento completo das necessidades elétricas do sistema. Paralelamente, a análise dos custos associados à energia adquirida à rede demonstra um aumento significativo relativamente ao observado para o caso 1. Em contrapartida, constata-se uma redução no valor obtido pela venda do excedente de energia à rede. As diferenças entre os dois casos estão detalhadas na Tabela 5.3. Relativamente ao custo da energia da rede, será apresentada apenas a tarifa tri-horária, dado que, para o presente ensaio, esta também foi a tarifa que apresentou o menor custo.

Tabela 5.3 - Diferença entre os preços de compra e de venda de energia à rede entre o caso 1 e o caso 1 com condições atmosféricas adversas

	Custo de energia da rede (€)	Preço da venda de energia à rede
Caso 1	1,7810	4,292
Caso 1 (Condições atmosféricas adversas)	4,7873	3,778
Diferença	+3,0063 (268,8%)	-0,514 (88%)

Estas diferenças refletem-se também no preço total a pagar e na pegada carbónica para o presente estudo, correspondentes à mesma semana considerada no caso anterior. Comparativamente ao estudo anterior (caso 1), em que o sistema obteve lucro, no presente ensaio o preço total a pagar será de 2,6640€ e as emissões de carbono aumentaram para 4,002 kg CO<sub>2</sub>e. Estas alterações, tanto no preço, como nas emissões, devem-se exclusivamente ao comportamento evidenciado na gestão da energia elétrica do sistema, uma vez que, para o processo de pasteurização, as condições atmosféricas adversas não influenciam a gestão energética do processo, dado que os equipamentos de produção de energia associados a este processo não se encontram na cobertura da instalação, local onde tais condições são mais evidentes.

Relativamente à gestão do processo de coagulação do sistema, a Figura 5.6 demonstra a resposta do sistema em estudo aquando da ausência de produção de energia solar térmica por parte dos coletores solares, na quinta-feira.

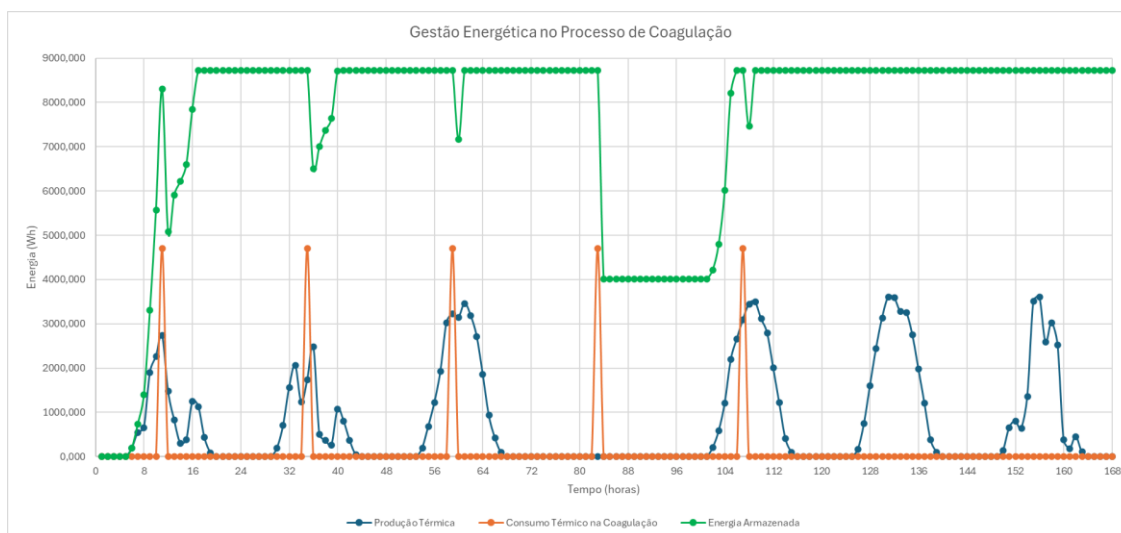


Figura 5.6 - Gestão energética no processo de coagulação do sistema para o caso 1 com condições atmosféricas adversas.

Pela análise do gráfico apresentado na Figura 5.6 é possível concluir que, mesmo na ausência de produção de energia solar térmica durante um dia completo, a energia previamente armazenada no depósito de acumulação é suficiente para satisfazer as necessidades energéticas associadas à coagulação do queijo nesse período. Além disso, nota-se que, caso os coletores solares retomem a sua operação no dia seguinte,

a energia produzida até ao momento de início do processo de coagulação é suficiente para assegurar a realização do processo, sem qualquer restrição.

De forma complementar, de modo a avaliar a influência individual de cada equipamento de produção de energia elétrica no desempenho global do sistema, responsável pelo suprimento das necessidades elétricas do sistema, decidiu-se estudar dois cenários distintos: num primeiro cenário, simulou-se a interrupção da produção de energia renovável proveniente dos painéis fotovoltaicos durante um dia completo; num segundo cenário, considerou-se apenas a suspensão exclusiva da energia elétrica produzida pela turbina eólica.

Os resultados obtidos para estes dois casos encontram-se representados nos gráficos da Figura 5.7, referente à ausência de produção de energia pelos painéis fotovoltaicos, e da Figura 5.8, referente à ausência de produção de energia pela turbina eólica.

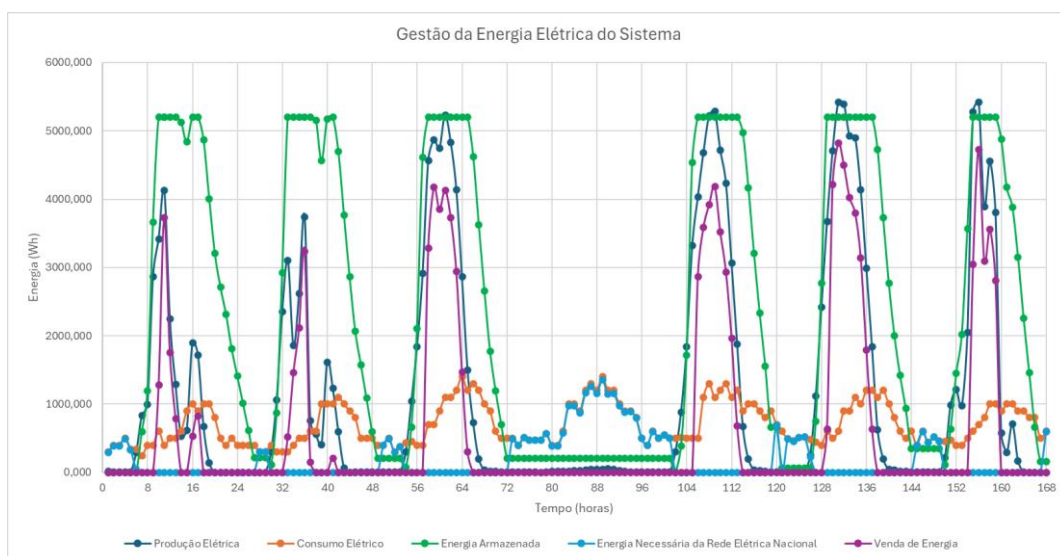


Figura 5.7 - Gestão da energia elétrica do sistema para o caso 1, com ausência de produção de energia pelos painéis fotovoltaicos.

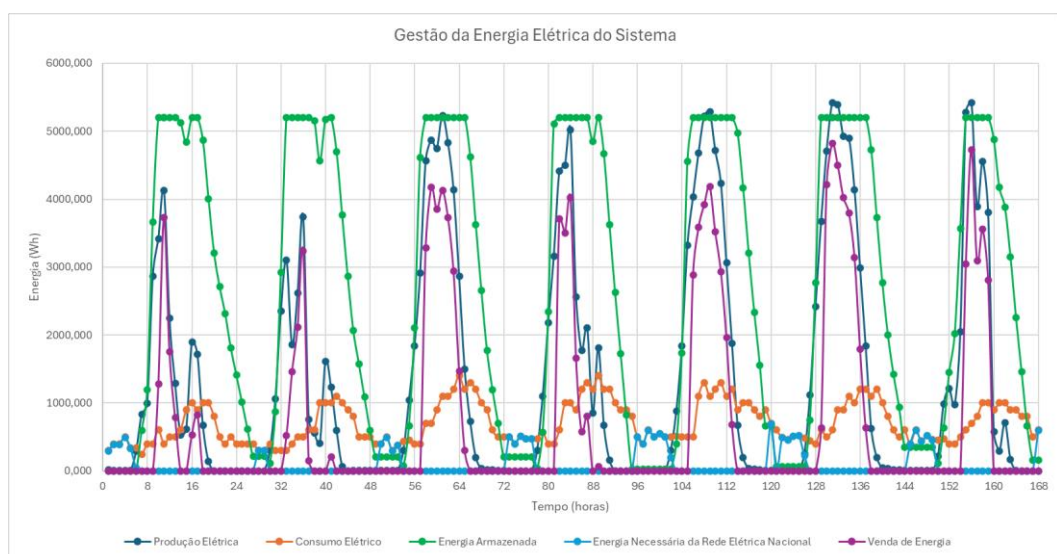


Figura 5.8 - Gestão da energia elétrica do sistema para o caso 1, com ausência de produção de energia pela turbina eólica.

Analisando o comportamento do sistema, na ausência de produção de energia elétrica pelos painéis fotovoltaicos e pela turbina eólica, exibidos na Figura 5.7 e na Figura 5.8, respetivamente, conclui-se que, no caso em que os painéis fotovoltaicos não produzem energia, a contribuição da turbina eólica não é suficiente para colmatar as necessidades elétricas do sistema, sendo estas asseguradas, quase integralmente, através da energia fornecida pela rede elétrica nacional, dado que a energia armazenada na bateria (curva verde), tal como observado no caso de ausência simultânea de produção solar e eólica (Figura 5.5), não é suficiente para colmatar as necessidades do sistema na quinta-feira, uma vez que esta energia é utilizada para atender às necessidades energéticas durante o período noturno do dia anterior.

Em contraste, quando a turbina eólica não produz energia, a produção assegurada pelos painéis fotovoltaicos é suficiente para suprir os consumos elétricos do sistema durante o período em análise. Com isto, verifica-se que, para os meses de verão, na região de Beja (local escolhido para a implementação do protótipo), a energia eólica não revela ser uma solução particularmente favorável, devido às reduzidas velocidades de vento características desta região no período referido.

## 5.2 Caso 2 - Protótipo CASEUS (3 de fevereiro a 9 de fevereiro de 2025)

Este ensaio foi, também, realizado para o local real do protótipo do projeto CASEUS (Instituto Politécnico de Beja), mas durante a semana de 3 de fevereiro a 9 de fevereiro de 2025. Neste período, registou-se uma produção diária (em dias úteis) de 38 kg de queijo.

À semelhança do primeiro ensaio, com base nesta informação foi possível determinar os consumos térmicos associados aos processos de pasteurização e coagulação, bem como recolher os dados referentes aos consumos elétricos do sistema (SolaX Power, 2025) e os dados relativos à radiação solar e à velocidade do vento (Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação, 2024a), dados estes que permitiram estimar a energia produzida. Os valores obtidos e os perfis das diferentes variáveis são apresentados nos Anexos.

Em seguida, a Figura 5.9 apresenta os resultados relativos à gestão da energia elétrica do sistema para este ensaio.

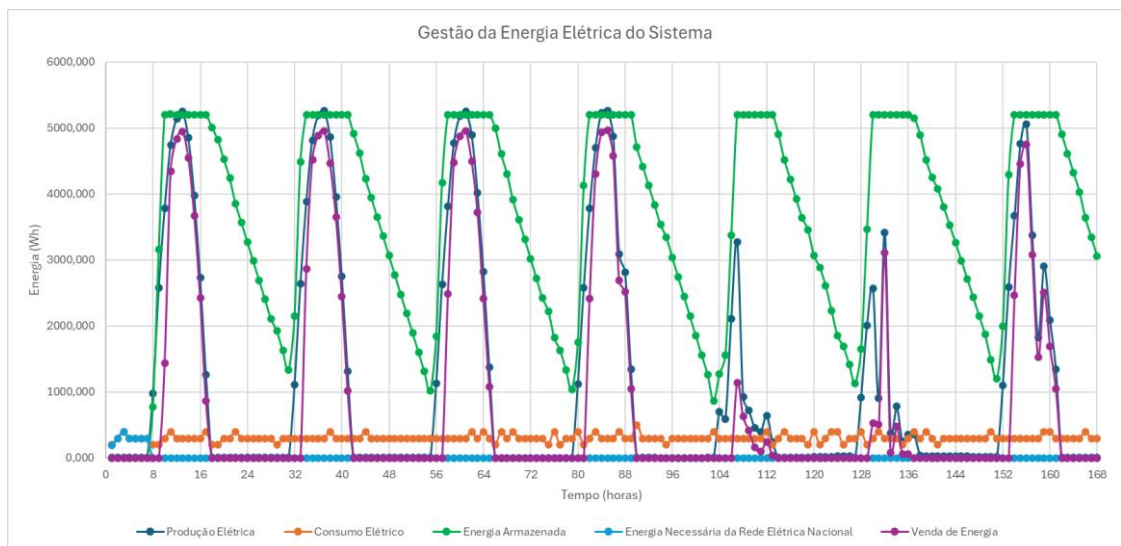


Figura 5.9 - Gestão da energia elétrica do sistema para o caso 2.

Pela análise do gráfico da Figura 5.9 pode-se reparar que o consumo elétrico do sistema é relativamente inferior ao observado no caso 1. Estes valores podem ser justificados pelas temperaturas exteriores mais reduzidas verificadas durante o período do presente ensaio, o que implica uma menor diferença entre as temperaturas interiores e exteriores da câmara de cura. Consequentemente, as perdas de calor por condução são inferiores, reduzindo a quantidade de energia térmica extraída pelo evaporador e, por conseguinte, a potência requerida ao compressor.

Com isto, pode-se ainda concluir que, na maior parte do período em estudo, a unidade queijeira consegue apresentar autossuficiência assegurada pela produção de energia renovável proveniente dos painéis fotovoltaicos e da turbina eólica.

Além disso, tal como verificado no caso 1, a energia armazenada na bateria é utilizada durante o período noturno, onde não existe produção de energia solar. No entanto, essa energia revela-se suficiente para colmatar os consumos do sistema nesses intervalos, sem haver uma descarga completa da bateria.

A informação referida acima, encontra-se igualmente corroborada pela Figura 5.10, na qual nota-se que, a partir de terça-feira da semana em estudo, a contribuição da energia renovável para colmatar as necessidades elétricas do sistema é de 100%.

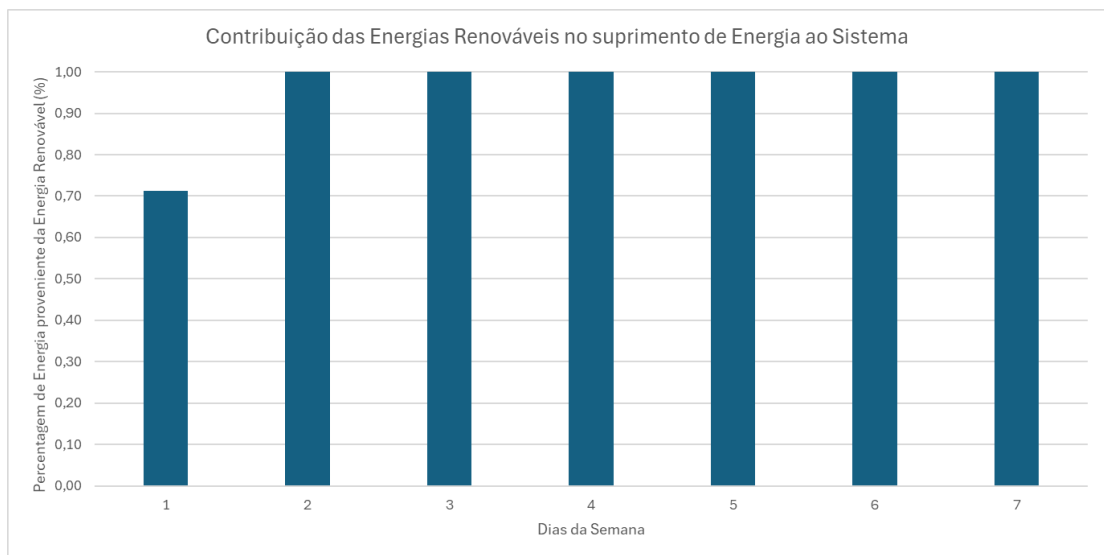


Figura 5.10 - Contribuição das energias renováveis no suprimento de energia ao sistema para o caso 2.

Posteriormente, na Figura 5.11 encontram-se apresentados os resultados referentes à gestão energética realizada para o processo de pasteurização do sistema no ensaio 2.

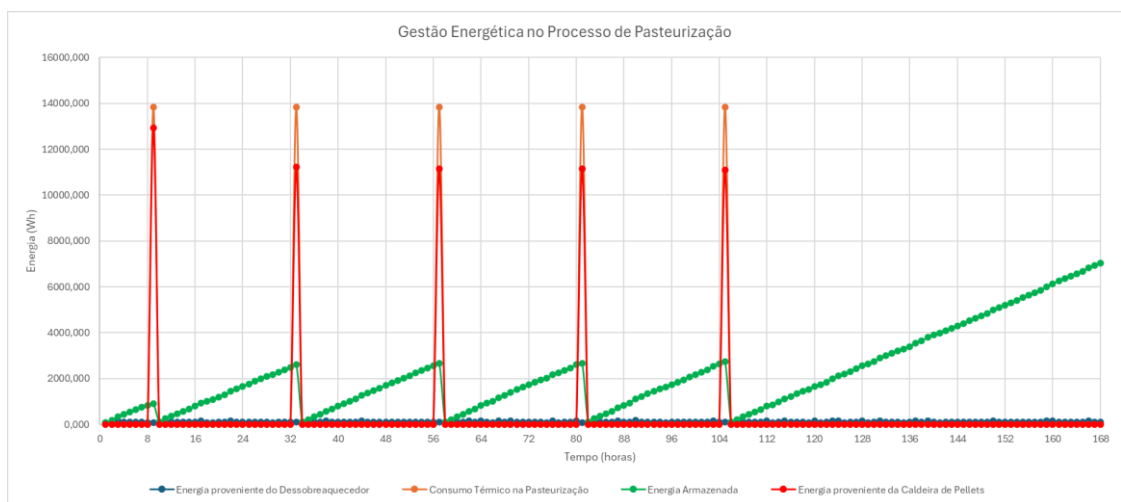


Figura 5.11 - Gestão energética no processo de pasteurização do sistema para o caso 2.

Comparando os resultados apresentados no gráfico da Figura 5.11 e os obtidos no caso 1 (Figura 5.3), verifica-se que, para o presente ensaio, é necessária uma maior parcela de energia proveniente da biomassa (curva vermelha) para colmatar a totalidade das necessidades da pasteurização. Este aumento de energia proveniente da caldeira de pellets decorre do acréscimo do consumo na pasteurização (curva laranja), resultante do maior volume de produção de queijo (38 kg) para a semana em estudo neste ensaio. Além disso, tal como já tinha sido anteriormente explicado relativamente ao balanço energético do sistema, a redução na quantidade de calor extraída pelo evaporador e na potência requerida ao compressor implica, conseqüentemente, uma menor quantidade de calor libertada no processo de condensação do fluido frigorígeno, resultando numa recuperação de energia inferior por parte do dessobreaquecedor.

Esta situação também pode ser evidenciada pela energia armazenada no depósito do sistema, pois ao contrário do observado para o caso 1, no presente cenário a energia armazenada durante o fim-de-semana revela-se significativamente inferior, o que torna, particularmente, difícil prever a eficácia da utilização dessa energia acumulada para reduzir a dependência da utilização da caldeira no processo de pasteurização ao longo da semana seguinte.

A Figura 5.12 apresenta os resultados referentes à gestão do processo de coagulação do sistema para o presente ensaio.

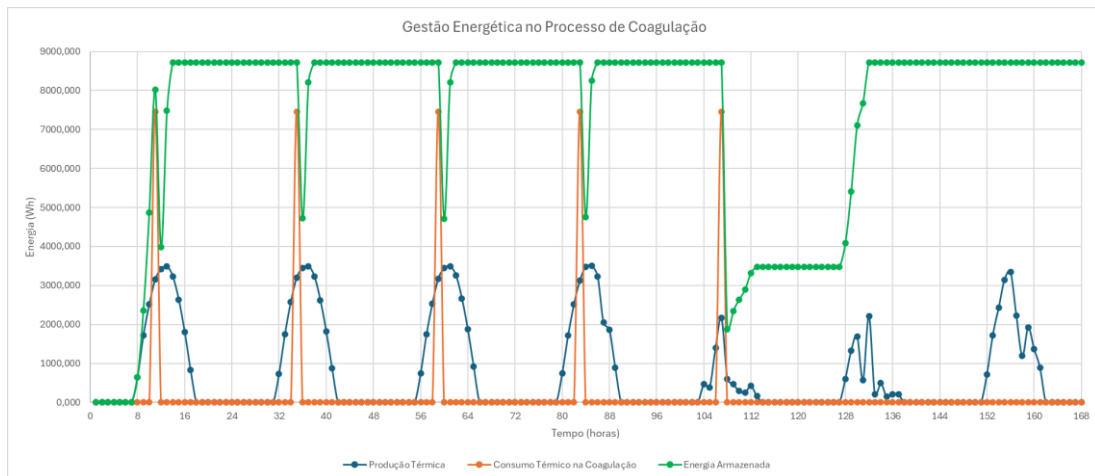


Figura 5.12 - Gestão energética no processo de coagulação do sistema para o caso 2.

Através da análise do gráfico da Figura 5.12 conclui-se que, apesar de o processo de coagulação requerer uma maior quantidade de energia térmica para o presente ensaio, comparativamente ao ensaio 1, devido à maior produção de queijo, a energia fornecida pelos coletores solares continua a ser suficiente para suprir os consumos energéticos da coagulação ao longo do período em estudo.

Contudo, verifica-se que a capacidade energética máxima do depósito de acumulação (8720,8 Wh), no presente ensaio, aproxima-se da quantidade de calor necessária no processo de coagulação. Tal facto permite inferir que, caso a unidade do caso de estudo venha a registar um aumento da sua capacidade produtiva de queijo, poderá existir a necessidade da incorporação de um depósito de acumulação com maior capacidade, bem como a instalação de coletores solares adicionais, para assegurar uma produção acrescida de energia térmica para armazenamento.

Relativamente aos custos associados ao consumo de eletricidade proveniente da rede elétrica nacional, pelo referido anteriormente é expectável que estes sejam inferiores aos obtidos no caso 1, uma vez que, conforme demonstrado pelo gráfico da Figura 5.10, o sistema recorre integralmente à energia renovável produzida localmente. Os valores correspondentes aos custos da eletricidade da rede para o presente ensaio encontram-se sintetizados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Custos elétricos para as diferentes tarifas aplicáveis para o caso 2.

Custos elétricos provenientes da rede elétrica nacional (€)		
Tarifa Simples	Tarifa Bi-Horária	Tarifa Tri-Horária
0,3386	0,2234	0,2234

Para o presente ensaio, conforme se pode observar na Tabela 5.4, o menor custo de eletricidade proveniente da rede é alcançado utilizando a tarifa bi-horária ou a tarifa tri-horária, sendo os valores significativamente inferiores aos praticados para o caso 1.

Por fim, na Tabela 5.5 são apresentados o preço da venda de energia à rede nacional e os custos associados à quantidade de pellets (kg) consumida na unidade queijeira durante o presente estudo, bem como o respetivo custo total de operação da unidade.

Tabela 5.5 - Preço a pagar para o caso 2.

Preços de Energia (€)	
Custo de Energia da Rede	0,2234
Custo de Energia da Biomassa	5,092
Preço da Venda de Energia	8,921
Preço Total a Pagar	-3,6055

Comparando os custos operacionais do caso 2 (Tabela 5.5) com os do caso 1 (Tabela 5.2), observa-se que, enquanto o caso 1 apresentou um lucro de 0,8561€, o caso 2 registou um lucro de 3,6055€. Este saldo positivo deve-se, principalmente, à maior remuneração proveniente do preço do mercado ibérico de energia (OMIE), que atingiu 0,633 €/kWh durante o período em estudo (de 3 a 9 de fevereiro de 2025), sendo que este valor corresponde aproximadamente ao dobro da receita obtida com a venda de eletricidade no caso 1.

Assim, apesar do maior consumo de pellets necessário ao processo de pasteurização, decorrente tanto da menor recuperação de calor proveniente do dessoraquecedor como do maior volume de produção, o sistema conseguiu, ainda assim, alcançar lucro monetário, além de demonstrar autossuficiência energética na maior parte do período analisado.

Por fim, as emissões equivalentes de CO<sub>2</sub> do sistema para o presente ensaio totalizaram 2,061 kg CO<sub>2</sub>e, que, em comparação com o caso 1 (2,261 kg CO<sub>2</sub>e), representa uma redução.

### 5.3 Caso 3 - Serra da Estrela

Neste ensaio, pretende-se avaliar o desempenho da aplicação informática desenvolvida para a implementação de uma unidade queijeira idêntica à estudada, mas localizada noutra região, com o objetivo de verificar a possibilidade de replicação desta solução noutras unidades queijeiras em diferentes regiões do território português e de aferir os potenciais benefícios da incorporação de equipamentos de produção de energia

renovável no suprimento das necessidades energéticas dos diversos processos de produção de queijo.

Para o efeito, selecionou-se a Serra da Estrela, região de referência em Portugal pela sua tradição na produção de queijo DOP. Mantiveram-se, para efeitos de comparação, o mesmo intervalo temporal do Caso 1 (semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025) e a mesma produção diária, em dias úteis, de 24 kg de queijo.

Inicialmente, com base nesta informação, procedeu-se à recolha dos dados relativos à radiação solar e à velocidade do vento para a região da Serra da Estrela (Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação, 2024a), de modo a permitir estimar a produção energética local. Os perfis de consumos elétrico e térmico da unidade foram considerados idênticos aos do caso 1, bem como as características e a parametrização dos equipamentos, assegurando coerência metodológica e permitindo a comparação direta dos resultados.

Face ao exposto, a Figura 5.13 apresenta um gráfico com os resultados obtidos referentes à gestão da energia elétrica do sistema para o presente ensaio.

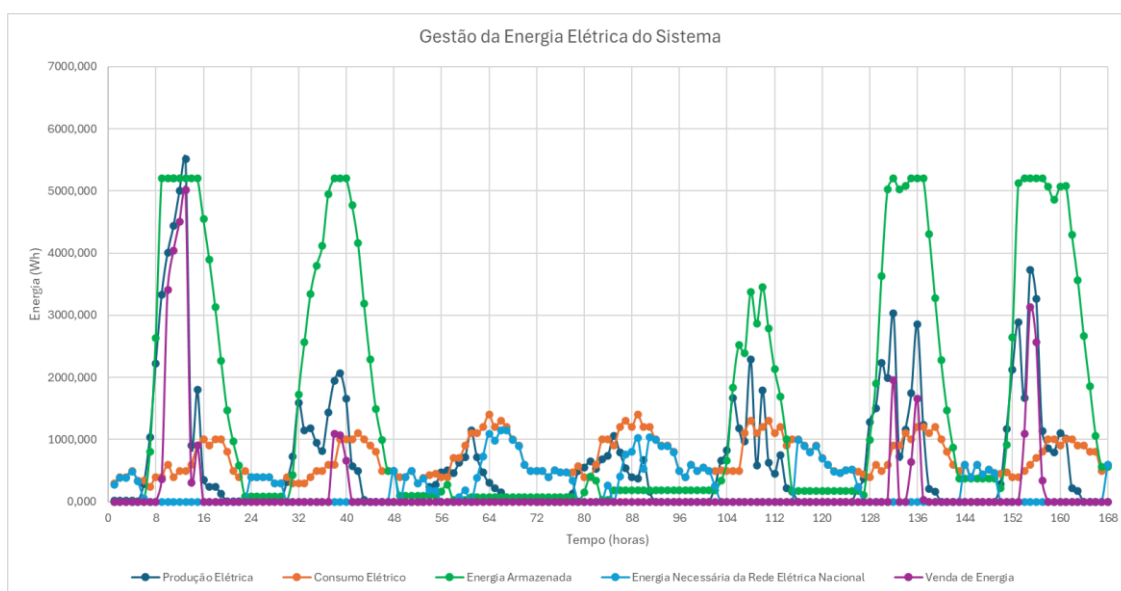


Figura 5.13 - Gestão da energia elétrica do sistema para o caso 3.

A análise do gráfico da Figura 5.13 evidencia que, para o período em estudo na região da Serra da Estrela, a produção de energia elétrica, tanto solar como eólica, foi bastante reduzida, sobretudo quando comparada com o cenário em que a unidade queijeira se encontra localizada em Beja (Figura 5.1). Esta diminuição poderá ser explicada pela utilização, no sistema de informação geográfico fotovoltaico da Comissão Europeia, da função de otimização da inclinação e do azimute dos painéis ao longo do ano, que, para a semana em estudo, poderiam não ser as características mais favoráveis à captação de energia solar. Adicionalmente, considerando que os valores de radiação solar e velocidade do vento correspondem a 2023, é possível que durante o período analisado tenham ocorrido condições atmosféricas adversas na região, contribuindo, assim, para a redução da produção energética.

Observa-se que, entre quarta-feira e sexta-feira, a maior parte da energia necessária ao funcionamento do sistema será colmatada pela rede elétrica nacional, porque, nesse intervalo, a bateria permaneceu na maior parte do tempo descarregada. Adicionalmente, a reduzida produção de energia reflete-se também numa diminuição significativa da quantidade de excedente de energia injetado na rede, em comparação com o caso 1. Face a estas condições, é expectável um aumento substancial dos custos associados ao consumo de eletricidade proveniente da rede.

De seguida, é também apresentado a contribuição das fontes de energia renovável para o abastecimento da energia elétrica necessária ao funcionamento da unidade queijeira em estudo (Figura 5.14). Verifica-se que, nos dias previamente referidos, a contribuição da energia renovável produzida localmente é reduzida, situando-se entre 37,8 e 63,8%, enquanto nos restantes dias atingem valores na ordem de 80%. Assim, pode-se concluir que, considerando a semana escolhida para a análise do cenário de implementação da unidade queijeira na região da Serra da Estrela, embora seja possível garantir parte do abastecimento através de produção renovável, as condições locais não se revelam particularmente favoráveis à produção de energia elétrica solar e eólica. Portanto, torna-se necessário realizar testes adicionais para outras semanas, a fim de avaliar de forma mais robusta a possibilidade de implementar esta unidade queijeira na região da Serra da Estrela.

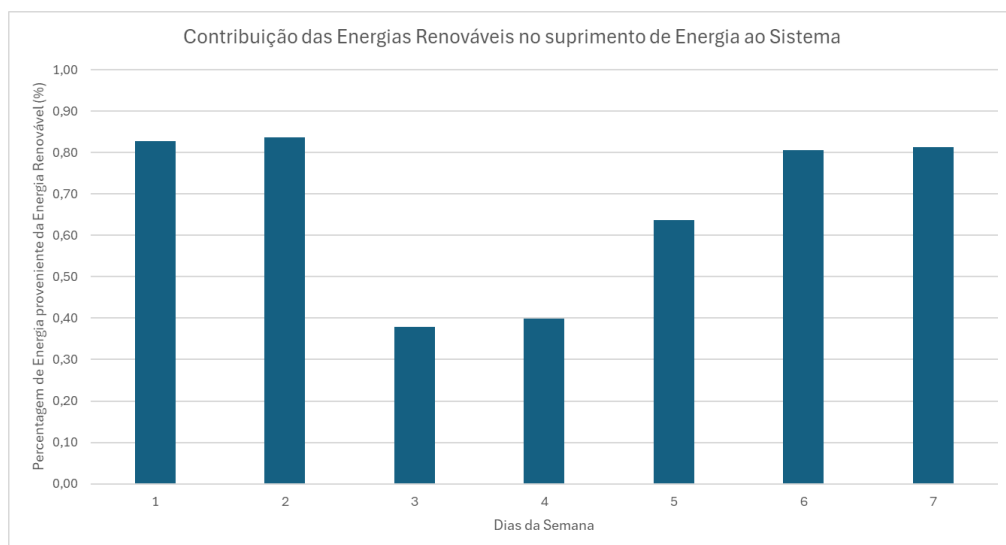


Figura 5.14 - Contribuição das energias renováveis no suprimento de energia ao sistema para o caso 3.

Relativamente à gestão energética associada ao processo de pasteurização do sistema, no presente ensaio, encontra-se representada na Figura 5.15.

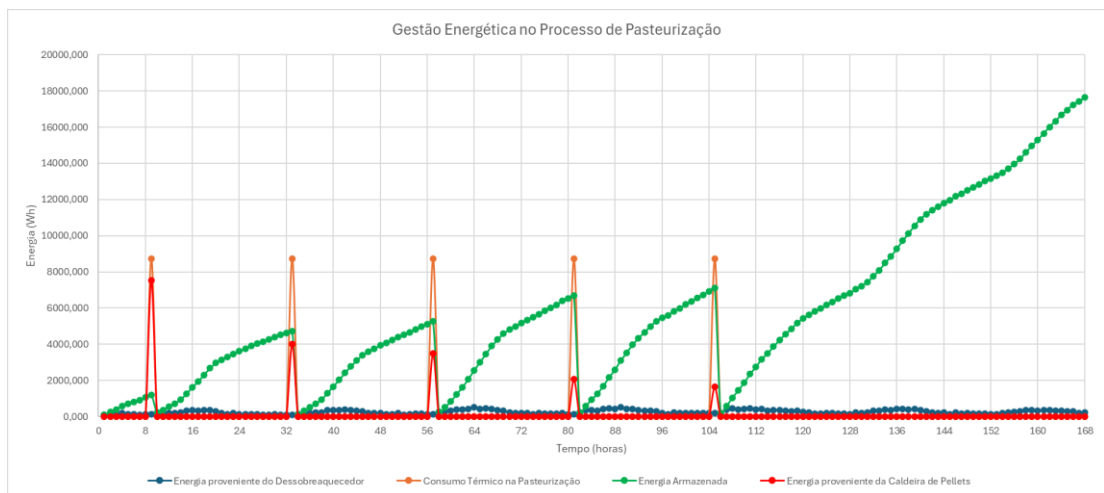


Figura 5.15 - Gestão energética no processo de pasteurização do sistema para o caso 3.

Uma vez que se consideraram os mesmos consumos elétricos e térmicos associados ao processo de pasteurização do caso 1, os resultados obtidos para a gestão energética deste processo no presente ensaio (Figura 5.15) são idênticos aos obtidos para o caso 1, onde era possível observar uma dependência da utilização da caldeira de pellets para fornecer a remanescência da energia necessária à pasteurização, mas também que, para a semana subsequente, existiria a possibilidade dessa dependência diminuir, em virtude da energia acumulada no depósito durante o fim-de-semana.

Posteriormente, são apresentados na Figura 5.16 os resultados da gestão energética realizada para o processo de coagulação do sistema.

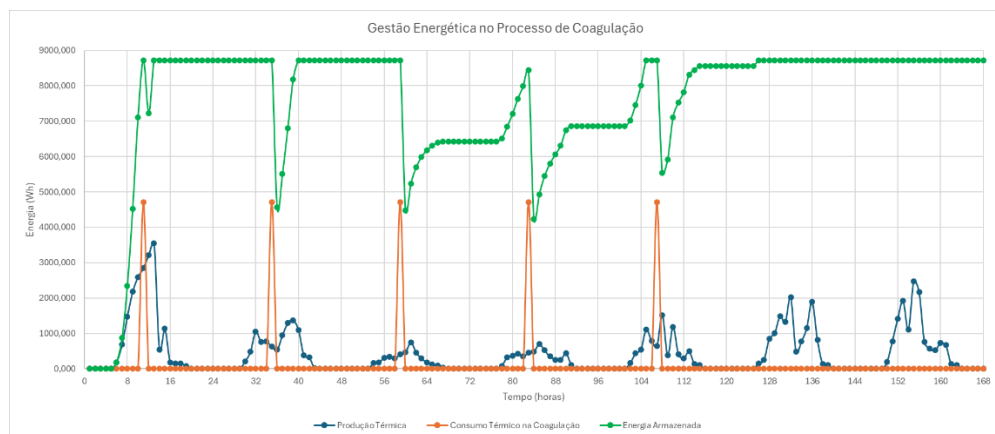


Figura 5.16 - Gestão energética no processo de coagulação do sistema para o caso 3.

Pela análise do gráfico da Figura 5.16, embora a radiação solar registada na região da Serra da Estrela durante o período em estudo tenha sido bastante reduzida, a produção de energia térmica pelos coletores solares do sistema revelou-se suficiente para suprir as necessidades energéticas do processo de coagulação, bem como para acumular a quantidade máxima de energia térmica para o início da semana subsequente.

Com base nos resultados obtidos, bem como com os resultados dos casos 1 (Figura 5.4) e 2 (Figura 5.12) conclui-se que a solução da utilização de energia solar térmica para fornecer a energia necessária ao processo de coagulação é altamente viável, tal como esperado, uma vez que a aplicação deste tipo de tecnologia em processos de

aquecimento do leite na produção de queijo já demonstrou excelentes desempenhos em outros estudos.

De forma a facilitar a avaliação sobre a viabilidade da unidade queijeira proposta em outras regiões de Portugal, apresentam-se, de seguida, os custos associados à energia proveniente da rede para as diferentes tarifas aplicáveis (Tabela 5.6) e o custo total a pagar (Tabela 5.7) para o presente ensaio.

Tabela 5.6 - Custos elétricos para as diferentes tarifas aplicáveis para o caso 3.

Custos elétricos provenientes da rede elétrica nacional (€)		
Tarifa Simples	Tarifa Bi-Horária	Tarifa Tri-Horária
6,7745	6,6014	6,0973

Conforme se observa na Tabela 5.6, o menor custo de eletricidade da rede nacional é referente à tarifa tri-horária, com um valor de 6,0973€. Considerando que, para todos os ensaios realizados, a tarifa de menor custo foi a tri-horária, dado que nas horas de ponta desta tarifa, a energia elétrica necessária é, em grande parte, fornecida pela energia renovável produzida localmente, então a adoção da tarifa tri-horária é a mais vantajosa em todos os cenários. Logo, recomenda-se que, aquando da implementação prática da unidade queijeira proposta em indústrias queijeiras em Portugal se utilize esta tarifa. Simultaneamente, verifica-se que, em comparação com os casos 1 e 2, o custo da eletricidade da rede elétrica nacional no presente ensaio é consideravelmente superior, por conta das condições ambientais da região não serem tão favoráveis à produção de energia renovável como ocorreu em Beja (casos 1 e 2).

Tabela 5.7 - Preço a pagar para o caso 3.

Preços de Energia (€)	
Custo de Energia da Rede	6,0973
Custo de Energia da Biomassa	1,655
Preço da Venda de Energia	1,138
Preço Total a Pagar	6,6147

Ao comparar o custo total de operação entre o presente ensaio e os casos anteriores, repara-se que o presente ensaio apresenta um valor significativamente mais elevado, de 6,6147€, devido às condições ambientais da localização escolhida durante o período em estudo, não se mostrarem propícias à produção de energia renovável, provocando uma dívida superior ao esperado.

Relativamente às emissões equivalentes de CO<sub>2</sub>, o presente ensaio também apresentou um valor substancialmente mais elevado que nos restantes ensaios, totalizando 4,971 kg CO<sub>2</sub>e.

Assim, pode-se concluir que a localização escolhida para a implementação da unidade queijeira proposta afeta a produção de energia renovável e, conseqüentemente, o preço total a pagar para o funcionamento do sistema e a sua pegada ecológica.

## 5.4 Comparação do protótipo com queijarias tradicionais

Com o objetivo de fazer um estudo mais preciso sobre a viabilidade da unidade queijeira em estudo para implementação prática, decidiu-se realizar um estudo comparativo entre os custos e a pegada ecológica do protótipo e os de algumas queijarias tradicionais indicadas na Tabela 2.3.

Para tal, assumindo que, na maioria das indústrias queijeiras modernas, o fornecimento de energia térmica necessário aos processos de pasteurização e coagulação é realizado através do gás natural, sendo a lenha utilizada apenas em casos muito específicos de queijarias artesanais mais antigas (Tuszynski *et al.*, 1983; Tomasula *et al.*, 2013). Assim, de modo a facilitar a análise tanto do custo operacional como da pegada ecológica das queijarias tradicionais, considerou-se o gás natural como fonte de energia térmica. Logo, começou-se por determinar o preço relativo ao gás natural, bem como o respetivo fator de emissão.

De acordo com a ERSE (2024b), no segundo semestre de 2024, o preço do gás natural destinado ao setor industrial em Portugal situava-se abaixo das médias registadas na UE e na Área Euro, correspondendo a 0,0510 €/kWh.

Relativamente ao fator de emissão associado ao gás natural, a Agência Portuguesa do Ambiente (2025) indica um valor de 0,384 kg CO<sub>2</sub>e/kWh.

Adicionalmente, considerou-se, para o preço da eletricidade consumida pelas indústrias queijeiras tradicionais, o valor referente à tarifa simples previamente mencionada.

Para o cálculo do custo e das emissões associados às indústrias queijeiras dos estudos incluídos na Tabela 2.3, para as quais não se dispõe de informação detalhada sobre a quantidade de energia elétrica e térmica consumida, ou seja, possuindo apenas dados energéticos gerais, considerou-se, com o intuito de simplificar os cálculos e possibilitar a análise destes cenários, que o abastecimento energético dessas unidades queijeiras seria realizado exclusivamente com recurso à eletricidade.

Com isto, procedeu-se ao cálculo dos custos e das emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes para as indústrias queijeiras tradicionais, cujos resultados aparecem apresentados na Tabela 5.8, juntamente com os resultados obtidos para os três casos estudados anteriormente.

Tabela 5.8 - Resumo dos custos e emissões de CO<sub>2</sub> para o protótipo e para as indústrias queijeiras tradicionais.

Protótipo (Casos de estudo)		
	Custo Operacional (€/kg <sub>queijo</sub> )	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/kg <sub>queijo</sub> )
Ensaio 1	-0,0071	0,0188
Ensaio 2	-0,0190	0,0109
Ensaio 3	0,0551	0,0414
Indústrias queijeiras tradicionais		
	Custo Operacional (€/kg <sub>queijo</sub> )	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/kg <sub>queijo</sub> )
Ladha-Sabur <i>et al.</i> (2019) - média de artigos	0,107	0,453
Ladha-Sabur <i>et al.</i> (2019) - SEC data	0,638	0,412
van Middelaar <i>et al.</i> (2011)	0,482	0,59 (valor disponível no artigo)
Gosalvitr <i>et al.</i> (2019)	0,057	0,12 (valor disponível no artigo)
Xu <i>et al.</i> (2009) - EUA	0,387-0,442	0,250-0,285
Xu <i>et al.</i> (2009) - Países Baixos	0,226	0,146
Berlin J. (2002)	0,136	0,4 (valor disponível no artigo)
Riva <i>et al.</i> (2018)	0,918	1,33 (valor disponível no artigo)
Nunes <i>et al.</i> (2015) - industrial	0,557	0,967
Nunes <i>et al.</i> (2015) - artesanal	0,296	0,497
Andrade <i>et al.</i> (2014) - industrial	0,523	0,868
Andrade <i>et al.</i> (2014) - artesanal	0,335	0,557

Através da análise dos resultados relativos ao custo operacional e às emissões de CO<sub>2</sub>, obtidos tanto nos ensaios realizados com base no protótipo do projeto CASEUS como nos dados disponibilizados em vários artigos sobre a indústria queijeira, apresentados na Tabela 5.8, pode-se verificar que os valores obtidos nos ensaios acabam por ser substancialmente inferiores aos observados em queijarias tradicionais que não recorrem à produção de energia renovável para suprir as necessidades das unidades queijeiras.

Desta forma, conclui-se que a solução proposta, com integração de energias renováveis para a produção e conservação de queijo, na presente dissertação, apresenta melhorias tanto de carácter económico (menor custo operacional ou possibilidade de lucro) como ambientais (menor pegada ecológica) face às indústrias queijeiras tradicionais. Logo, esta solução revela-se potencialmente viável para implementação prática, de modo a atingir as metas estabelecidas pela UE e pelo Governo Português, além de facilitar a produção de queijo em zonas remotas ou rurais, com acesso limitado à rede elétrica nacional.

Além disso, procedeu-se à comparação entre os resultados obtidos pela aplicação informática desenvolvida e os resultados experimentais do protótipo, no que se refere à gestão elétrica do sistema. Esta análise tem como objetivo validar a precisão dos resultados obtidos pela ferramenta de simulação desenvolvido na presente dissertação, sendo que, no entanto, o protótipo monitoriza exclusivamente os dados elétricos do sistema, embora se saiba que, nos processos térmicos de produção de queijo (pasteurização e coagulação) são atingidas as temperaturas necessárias ao correto funcionamento dos mesmos.

A Figura 5.17 apresenta os resultados da gestão elétrica obtidos pelo protótipo instalado no Instituto Politécnico de Beja, relativos ao mês de maio de 2025.

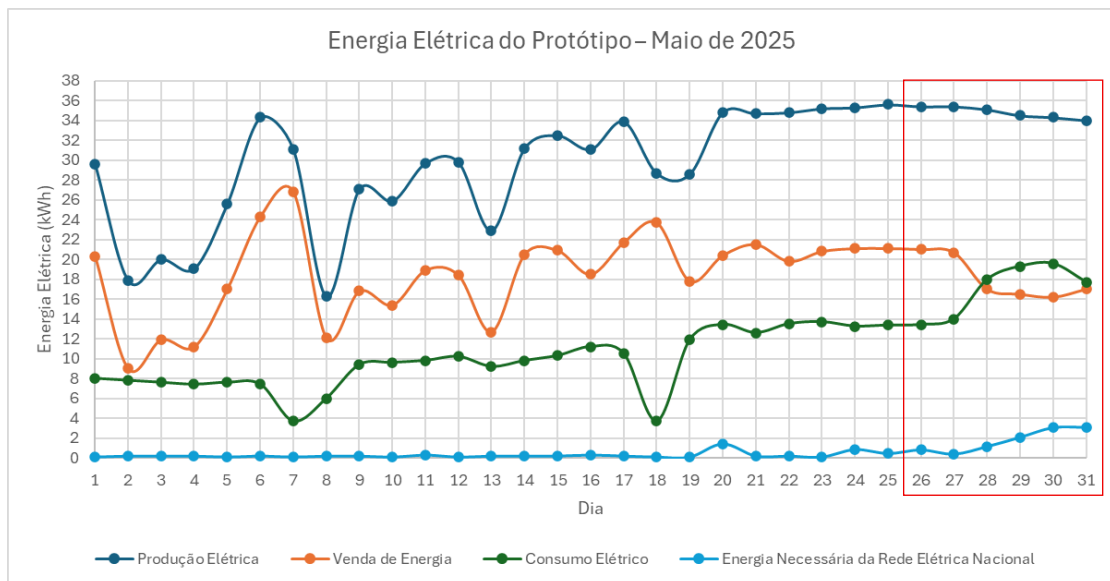


Figura 5.17 - Gestão da energia elétrica do protótipo instalado no Instituto Politécnico de Beja, para maio de 2025.

Comparando os resultados experimentais do protótipo do projeto CASEUS (Figura 5.17) com os resultados obtidos através do programa de simulação, apresentados na Figura 5.1, verifica-se que existe uma disparidade entre os valores relativos à produção elétrica proveniente das fontes renováveis e, conseqüentemente, na venda de energia à rede. Esta diferença pode ser explicada pelo facto de o programa de simulação ter recorrido a dados históricos de radiação solar e de velocidade de vento de anos anteriores, devido à inexistência de registos mais recentes. Outro fator que contribui para esta disparidade

prende-se com a instalação dos painéis fotovoltaicos, uma vez que, no programa, estes foram dimensionados para uma estrutura fixa com azimute e inclinação otimizados, conforme sugerido pelo sistema de informação geográfico fotovoltaico da Comissão Europeia (Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação, 2024a), para o local em estudo e com base nas condições verificadas no ano de 2023, enquanto no protótipo os painéis foram instalados com uma configuração distinta.

No entanto, relativamente à energia proveniente da rede elétrica nacional, os valores do protótipo e do programa de simulação são bastante semelhantes, conforme evidenciado de forma mais detalhada no gráfico da Figura 5.18.

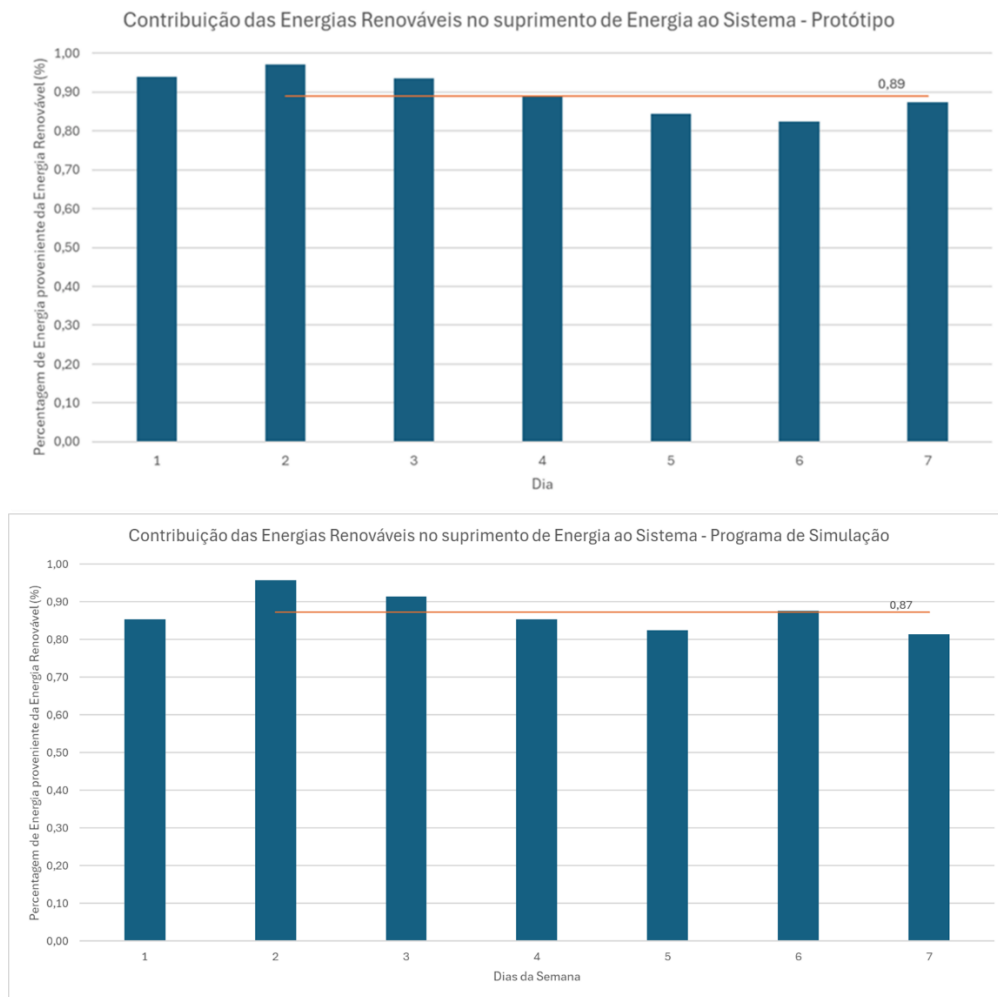


Figura 5.18 - Comparação da contribuição da energia proveniente de fontes renováveis no abastecimento das necessidades elétricas do sistema entre o protótipo e o programa de simulação.

Na Figura 5.18, a média apresentada exclui o valor correspondente ao dia 26, uma vez que, no programa de simulação, este dia refere-se ao primeiro dia de funcionamento do protótipo, ainda sem armazenamento prévio de energia na bateria, enquanto nos dados experimentais o protótipo já possui energia armazenada para suprir as necessidades elétricas do sistema.

A partir desta análise comparativa entre os valores obtidos pelo programa de simulação e pelo protótipo, pode-se concluir que, embora seja impossível determinar com precisão

absoluta a produção elétrica e a venda de energia à rede elétrica nacional, o programa de simulação demonstra de forma clara como é realizada a gestão elétrica no protótipo, indicando a contribuição relativa proveniente de fontes de energia renovável e da rede elétrica nacional para o abastecimento das necessidades elétricas da unidade queijeira, com um erro de 2,3%.

## 5.5 Análise económica do protótipo

Por último, com o propósito de avaliar o benefício económico associado à integração de fontes de energia renovável numa unidade de produção de queijo, como a proposta nesta dissertação, procedeu-se à determinação do período de retorno do investimento (*payback*), de acordo com a equação (5.1) (Ngwakwe, 2025), considerando para esse efeito os resultados obtidos no caso 1.

$$Payback = \frac{CAPEX}{CF_{semanal}} \quad (5.1)$$

Onde:

- *Payback* - Tempo de retorno do investimento [semana];
- CAPEX - Investimento inicial [€];
- $CF_{semanal}$  - Receita líquida semanal do investimento [€/semana].

O protótipo instalado no Instituto Politécnico de Beja, no âmbito do projeto CASEUS, representou um investimento total de 61500€ (Calvo, 2024), conforme apresentado na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Orçamento do protótipo do projeto CASEUS (Calvo, 2024).

Orçamento	
Equipamento	Peso
Sistema PV	16,50%
Sistema Frigorífico	19,00%
Quadro elétrico	4,50%
Sistema solar Térmico	11,50%
Controlo	4,90%
Circuladores Past, e Permuta	2,90%
Caldeira	9,80%
PCM	2,80%
Acessórias Frio	3,00%
Acessórias AQS	4,20%
Acessórias Elétricas	3,50%
Outros*	17,20%
<b>Custo total da obra</b>	<b>61 500,00 €</b>

No entanto, a integração exclusiva dos equipamentos de produção de energia renovável numa unidade queijeira já existente implica um investimento de 24969€ (40,6%; sistema fotovoltaico, sistema solar térmico, caldeira e PCM), de acordo com os equipamentos considerados na presente dissertação.

Relativamente à receita líquida do investimento, esta deve considerar o custo ou o lucro final obtido após análise dos custos da energia proveniente da rede elétrica nacional, da quantidade de pellets consumida e da receita associada à venda de energia excedente

à rede nacional (Tabela 5.2). Além disso, deve ainda incluir o benefício resultante do autoconsumo de energia renovável em detrimento de combustíveis fósseis. Assim, torna-se necessário quantificar a poupança económica proporcionada pela utilização de energias renováveis para autoconsumo. O cálculo da receita líquida do investimento, para o caso 1, foi realizado através da equação (5.2).

$$CF_{semanal} = Preço\ a\ Pagar + E_{autoelétrico} \cdot Custo_{Eletricidade} + E_{autotérmico} \cdot Custo_{Gás\ Natural} \quad (5.2)$$

Onde:

- Preço a Pagar - Custo ou lucro final do sistema, considerando os custos da energia proveniente da rede, da quantidade de pellets consumida e da receita associada à venda de energia excedente à rede [€];
- $E_{autoelétrico}$  - Energia elétrica autoconsumida, proveniente dos painéis fotovoltaicos e da turbina eólica [kWh];
- $Custo_{Eletricidade}$  - Custo da energia elétrica proveniente da rede nacional [€/kWh];
- $E_{autotérmico}$  - Energia térmica autoconsumida, proveniente dos coletores solares e do dessobreaquecedor [kWh];
- $Custo_{Gás\ Natural}$  - Custo do gás natural fornecido [€/kWh].

Para o autoconsumo de energia elétrica, considerou-se a tarifa tri-horária para o custo da eletricidade proveniente da rede nacional, uma vez que, no ensaio 1, esta se revelou a opção mais vantajosa e foi utilizada no cálculo do custo final do sistema (Preço a Pagar). Relativamente ao autoconsumo de energia térmica, esta engloba os processos de pasteurização e de coagulação, tendo sido utilizado o gás natural para determinar o benefício do autoconsumo de energias renováveis, dado que, para unidades queijeiras tradicionais, este constitui o combustível fóssil mais utilizado (Tomasula *et al.*, 2013).

Quanto à obtenção dos valores das energias autoconsumidas pelo sistema, a energia elétrica corresponde ao consumo semanal total fornecido pela energia solar fotovoltaica e eólica, complementado pela energia proveniente da bateria. Relativamente à energia térmica, considera-se que o consumo associado ao processo de coagulação é igual ao consumo semanal desse processo, uma vez que este é integralmente autossuficiente, enquanto que, para a pasteurização, corresponde, ao consumo da energia proveniente do dessobreaquecedor.

No que respeita ao custo do gás natural, segundo a ERSE (2025), para o escalão 2 de Baixa Pressão, inferior a 10.000 m<sup>3</sup>, no qual se insere a unidade queijeira em estudo para os consumos relativos ao ensaio 1, o preço é de 0,01977691 €/kWh, conforme observado na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Tarifas de energia para o gás natural (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), 2025).

TARIFA DE ENERGIA		
Baixa Pressão ≤ 10 000 m <sup>3</sup> (EUR/kWh)		
BP<	Escalão 1	0,01977691
	Escalão 2	0,01977691
	Escalão 3	0,01977691
	Escalão 4	0,01977691

TARIFA DE ENERGIA - a aplicar pelos CURr, no âmbito do fornecimento supletivo	
Alta Pressão (EUR/kWh)	0,03539401
Média Pressão (EUR/kWh)	0,03541879
BP> (EUR/kWh)	0,03553921

Após a determinação da receita líquida do investimento mediante a equação (5.2), em que se obteve um valor de 19,018€, procedeu-se, em seguida, ao cálculo do tempo de retorno do investimento através da equação (5.1), resultando num tempo de retorno de 1312,9 semanas, equivalente a 25,3 anos. Conclui-se, assim, que, embora o protótipo apresente custos e emissões de CO<sub>2</sub> inferiores relativamente às indústrias tradicionais, os equipamentos de produção de energia renovável representam ainda um investimento inicial muito elevado, implicando um período de retorno prolongado. Além disso, este valor pode ser justificado pela utilização de dados de radiação solar e de velocidade de vento relativos ao ano de 2023, os quais não correspondem aos dados reais da semana em estudo no caso 1, bem como pela utilização de painéis solares fixos, com um azimute e inclinação que poderão não ser os mais favoráveis para o cenário real. No entanto, prevê-se que, com a evolução tecnológica, este investimento inicial tenda a diminuir nos próximos anos, tornando mais atrativa a incorporação de fontes de energia renovável em unidades de produção de queijo.

Contudo, tal como se verificou no capítulo referente às variações sobre o caso 1 perante condições atmosféricas adversas, a turbina eólica instalada apresenta uma contribuição pouco significativa para a produção de energia elétrica, além de ser um equipamento dispendioso, cujo custo pode atingir valores de 1500€ ou superiores. Assim, a exclusão deste equipamento na unidade queijeira resultaria num investimento inicial inferior e, consequentemente, num período de retorno também mais reduzido.



## 6 Conclusões e trabalho futuro

### 6.1 Conclusões

O principal objetivo desta dissertação consistiu no desenvolvimento de um programa de simulação com a capacidade para realizar a gestão energética de uma unidade queijeira com integração de energias renováveis, para abastecer na máxima medida possível, as necessidades energéticas do sistema. Esta abordagem visa assegurar o cumprimento das normas europeias e portuguesas relacionadas à transição energética nas indústrias, bem como propor uma solução que facilite a produção de queijo em zonas remotas ou rurais de Portugal, de difícil acesso à rede elétrica.

O desenvolvimento da aplicação informática baseou-se num protótipo de unidade queijeira concebido no âmbito do projeto CASEUS, incorporando painéis fotovoltaicos, turbina eólica, coletores solares e caldeira de pellets para fornecimento da energia necessária ao processo de produção de queijo. Adicionalmente, foram incorporados PCM's no interior da câmara de cura, com o objetivo de estabilizar a temperatura.

Nesta dissertação foram considerados três cenários possíveis de funcionamento: i) um ensaio na localização real do protótipo durante a semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025, para estudar a gestão energética do sistema no verão; ii) um ensaio na mesma localização durante a semana de 3 a 9 de fevereiro de 2025, para avaliar o desempenho energético no inverno e; iii) um ensaio na região da Serra da Estrela, na semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025, com o objetivo de analisar a viabilidade do protótipo noutras regiões do país.

A análise dos resultados obtidos nos três ensaios permitiu verificar que, nos cenários correspondentes à localização real do protótipo, o sistema alcançou autossuficiência elétrica durante o período de inverno e esteve muito próximo de a atingir no verão, assegurando, simultaneamente, o fornecimento integral das necessidades energéticas associadas aos processos de pasteurização e coagulação. Além disso, o sistema gerou um lucro de 0,8561€ no verão e de 3,6055€ no inverno, com emissões equivalentes de CO<sub>2</sub> significativamente reduzidas (2,261 e 2,061 kg CO<sub>2</sub>e, respetivamente). Por sua vez, o ensaio realizado na região da Serra da Estrela apresentou um custo e pegada ecológica superiores, devido, sobretudo, às condições atmosféricas desfavoráveis à produção de energia renovável para a semana analisada.

Posteriormente, a comparação dos valores obtidos pela aplicação informática com os dados indicados em vários artigos sobre os consumos energéticos na indústria queijeira tradicional, demonstrou que os custos operacionais do protótipo foram substancialmente inferiores, possibilitando, em determinados períodos, a obtenção de lucros monetários. Relativamente ao impacto ambiental, o protótipo apresentou uma pegada ecológica

consideravelmente menor, com emissões de CO<sub>2</sub> inferiores às registadas nas indústrias queijeiras tradicionais.

Foi ainda realizada uma análise comparativa entre os resultados do programa e os dados experimentais do protótipo, que confirmaram a fiabilidade do programa de simulação na representação da gestão energética na unidade queijeira em estudo.

Com base no trabalho desenvolvido na presente dissertação, conclui-se que, do ponto de vista financeiro e ambiental, o protótipo desenvolvido representa uma solução viável face às unidades queijeiras tradicionais que dependem da eletricidade proveniente da rede elétrica e de combustíveis fósseis. Adicionalmente, o programa de simulação pode servir de ferramenta de análise para avaliar a viabilidade da implementação de unidades de produção de queijo similares, ou até com mais necessidades energéticas, em outras regiões de Portugal. No entanto, na análise económica do protótipo revelou um período de retorno, face ao equipamento atualmente instalado, superior a vinte anos, indicando ainda, a necessidade de um investimento inicial elevado.

## 6.2 Trabalho futuro

Futuramente e, dando continuidade ao trabalho desenvolvido na presente dissertação, pretende-se atualizar a aplicação informática, tornando-a mais intuitiva e acessível ao utilizador, permitindo a projetistas do setor queijeiro que utilizem esta ferramenta para obter informação sobre as condições da implementação de fontes de energia renovável na produção e conservação de queijo, aplicadas a unidades similares à descrita nesta dissertação, ou a outras com consumos mais elevados.

Além disso, prevê-se a realização de novos ensaios com medição das radiações solares e da velocidade de vento no local do protótipo (Instituto Politécnico de Beja), de forma a obter resultados mais próximos da realidade, sobretudo no que respeita à produção elétrica e à venda de energia à rede, permitindo assim uma estimativa mais precisa do lucro ou custo operacional da unidade queijeira. Pretende-se igualmente expandir os ensaios a outras regiões do país, com a possibilidade de replicar o protótipo instalado em Beja em outras indústrias queijeiras reais.

Por fim, considera-se relevante, em trabalhos futuros, realizar uma análise detalhada sobre a influência da utilização dos PCM's colocados no interior da câmara de cura nos consumos elétricos da mesma, uma vez que foi possível constatar com a realização da presente dissertação que os consumos elétricos do protótipo, instalado em Beja, foram ligeiramente inferiores aos observados nas indústrias queijeiras tradicionais.

# Referências bibliográficas

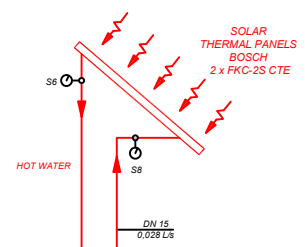
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2025). *Fator de emissão de gases com efeito de estufa da eletricidade produzida em Portugal -2025*. Acedido em 28 novembro 2025, de [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Clima/Inventarios/20250808/fe\\_gee\\_eletricidade\\_2025\\_final\\_apc.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Inventarios/20250808/fe_gee_eletricidade_2025_final_apc.pdf)
- Albertone, G., Allen, S., & Redpath, A. (2023). *Key Figures on the european food chain - 2023 edition*. Eurostat. <https://doi.org/10.2785/265789>
- Alvarenga, N., Gomes, S., Duarte, M. F., & Martins, A. P. L. (2020). A importância dos queijos qualificados no âmbito do projecto CFD4CHEESE. In J. Dias, M. F. Duarte, J. Garcia, F. Lidon, N. Alvarenga & G. Carvalho (Orgs.), *Aplicação da mecânica dos fluídos computacional e monitorização remota em queijarias tradicionais* (pp. 5-28). Instituto Politécnico de Beja
- Andrade, L. P., Silva, P. D., Domingues, C., Gaspar, P. D., & Nunes, J. (2014). Eficiência energética nas indústrias de fabrico de queijo da Beira Interior. *I Congresso Nacional das Escolas Superiores Agrárias*, 189–196.
- Araújo, C. S., Vimercati, W. C., Macedo, L. L., Lima, R. R., Sant'Ana, C. T., Paula, S. C. S. E., Santos, M. F., Souza, H. L. S., Martins, P. H. A., Fonseca, H. C., & Paula, R. R. (2021). Processamento térmico do leite: Termização, pasteurização e UHT. In D. F. Andrade (Orgs.) *Ciência e Tecnologia dos Alimentos* (pp. 28–33). <https://doi.org/10.36229/978-65-5866-118-4.CAP.05>
- Archer, C. L., & Jacobson, M. Z. (2005). Evaluation of global wind power. *Journal of Geophysical Research*, 110, D12110. <https://doi.org/10.1029/2004JD005462>
- Argus Media. (2022). *Argus Biomass Markets Report Sample* (Issue 22-46).
- Argus Media. (2024). *Argus Biomass Markets Report Sample* (Issue 24-17).
- Bakalis, S., Malliaroudaki, M. I., Hospido, A., & Guzman, P. (2020). Horizon 2020: State of the art in energy use and sustainability of the dairy industry. Predictive modelling tools to evaluate the effects of climate change on food safety (PROTECT Project). Acedido em 28 novembro 2025, de <http://www.protect-itn.eu>
- Berlin, J. (2002). Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. *International Dairy Journal*, 12, 939-953.
- Calvo, F. J. A. S. B. (2024). *Implementação de um sistema integrado de energia, para cura de queijo, com utilização de energias renováveis e phase changing material (PCM's)* (Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa).
- Cardoso, B. R. C. (2017). *Gestão energética de uma indústria alimentar* (Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Instituto Politécnico do Porto).
- Comissão Europeia. (2023). *Short-term outlook for EU agricultural markets - Spring 2023*. Direção-Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural. Bruxelas, Bélgica.
- Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação (JRC). (2024a). *PVGIS - Sistema de Informação Geográfico Fotovoltaico*. Acedido em 28 novembro 2025, de [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- Comissão Europeia - Centro Comum de Investigação (JRC). (2024b). *PVGIS 5.3 - Sistema de Informação Geográfico Fotovoltaico*. Acedido em 28 novembro 2025, de [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-releases/pvgis-53\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-releases/pvgis-53_en)
- Costa, D. C. (2011). *Caracterização e tratamento de efluentes resultantes da actividade de produção de queijo* (Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa).
- Costa, P. M. R. S. (2016). *Simulação de soluções de autoconsumo fotovoltaico - Viabilidade do armazenamento no sector residencial* (Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico).
- Dabhi, S. K., Patel, V. R., M, D. K., Gunaprasad, K., Manjunath, T. C., Hassan, I. A. I., Lakkimsetty, N. R., Shaik, F., & L, N. (2024). Application of solar thermal collectors for milk pasteurization to explore the potential of renewable energy in the dairy sector: Challenges and possibilities. *Applied Chemical Engineering*, 7(3). <https://doi.org/10.59429/ace.v7i3.5501>
- Dias, J., Pires, M. C., Carvalho, G., Ferreira, P., Santos, R., Rodrigues, F. M., Teixeira, N., & Alvarenga, N. (2020). Descrição das queijarias nas regiões de Serpa, Évora e Azeitão. In J. Dias, M. F. Duarte, J. Garcia, F. Lidon, N. Alvarenga & G. Carvalho (Orgs.), *Aplicação da mecânica dos fluídos computacional e monitorização remota em queijarias tradicionais* (pp. 39-57). Instituto Politécnico de Beja

- Dias, J. C. F. (2021). Sistema de aquisição e consulta de consumos de energia elétrica (Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho).
- Emmons, D. B., Ernstrom, C. A., Lacroix, C., & Verret, P. (1990). Predictive formulas for yield of cheese from composition of milk: A review. *Journal of Dairy Science*, 73, 1365-1394. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78803-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78803-0)
- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). (2025). *Tarifas e preços - Eletricidade*. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>
- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). (2024a). *Quadros de tarifas energia elétrica vigentes a partir de 01 de janeiro de 2025* [Ficheiro Excel]. Acedido em 28 novembro 2025, de [https://www.erse.pt/media/ipboeq4k/s\\_tarifas\\_net.xlsx](https://www.erse.pt/media/ipboeq4k/s_tarifas_net.xlsx)
- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). (2024b). *Boletim de comparação de preços de gás natural - Eurostat: 1.º semestre de 2024*. Acedido em 28 novembro 2025, de [https://www.erse.pt/media/0awfgws4/boletim-g%C3%A1s-eurostat\\_2024s1.pdf](https://www.erse.pt/media/0awfgws4/boletim-g%C3%A1s-eurostat_2024s1.pdf)
- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). (2025). *Quadros de tarifas e preços do gás no ano 2025-2026* [Ficheiro Excel]. Acedido em 28 novembro 2025, de [https://www.erse.pt/media/drshbhjt/s\\_tarifas\\_net-2025\\_2026.xlsx](https://www.erse.pt/media/drshbhjt/s_tarifas_net-2025_2026.xlsx)
- Ferahta, F. Z., & Abid, C. (2018). Intensification of a flat solar collector efficiency. *The European Physical Journal Applied Physics*, 83, 30903. <https://doi.org/10.1051/epjap/2018180160>
- FoodDrinkEurope. (2024a). *Data & trends: EU food and drink industry - 2024 edition*.
- FoodDrinkEurope (2024b). *Economic bulletin Q1 2024*.
- GoParity. (2023). Lactocelheiro solar 450. *GoParity*. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://goparity.com/pt-pt/project/lactocelheiro-solar-450>
- Gosalvitr, P., Cuellar-Franca, R., Smith, R., & Azapagic, A. (2019). Energy demand and carbon footprint of cheddar cheese with energy recovery from cheese whey. *2nd International Conference on Sustainable Energy and Resource Use in Food Chains (ICSEF), Paphos, Chipre*. *Energy Procedia*, 161, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.052>
- Gouveia, D. G. (2023). *Otimização do rendimento térmico de uma caldeira doméstica* (Dissertação de mestrado, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu).
- Graça, L. A. T. S. (2019). *Autoconsumo com e sem produção fotovoltaica e injeção do excedente na rede* (Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa).
- Instituto Nacional de Estatística. (2024). *Produção de leite e de produtos lácteos*. INE. Acedido em 28 novembro 2025, de [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=0000214&contexto=bd&selTab=tab2&xlang=pt](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0000214&contexto=bd&selTab=tab2&xlang=pt)
- Jesus, F. (2024). Preço pellets: Tendências e previsões para o mercado. *Portal Energia*. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://www.portal-energia.com/preco-pellets-tendencias-previsoes-mercado/>
- Ladha-Shabur, A., Bakalis, S., Fryer, P. J., & Lopez-Quiroga, E. (2019). Mapping energy consumption in food manufacturing. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 270-280. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.034>
- Maganha, M. F. B. (2006). *Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos - Série P+L*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).
- Masera, K., Tannous, H., Stojceska, V., & Tassou, S. (2023). An investigation of the recent advances of the integration of solar thermal energy systems to the dairy processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 172, 113028. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113028>
- Mon, A. A., & Naing, S. W. (2014). Power factor improvement for industrial load by using shunt capacitor bank. *Internacional Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 3 (15), 3191-3195.
- Neves, R. (2024). Aumento massivo das importações ameaça queijos portugueses. *Jornal de Negócios*. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/agricultura-e-pescas/detalhe/aumento-massivo-das-importacoes-ameaca-queijos-portugueses>
- Ngwakwe, C. C. (2025). Estimating the financial payback period for renewable energy investment – A quasi-systematic review. *Oblik i finansii*, 2 (108), 59-66. [https://doi.org/10.33146/2307-9878-2025-2\(108\)-59-66](https://doi.org/10.33146/2307-9878-2025-2(108)-59-66)
- Nunes, J., Silva, P. D., Andrade, L. P., Domingues, C., & Gaspar, P. D. (2015). Opportunities for the energy efficiency improvement in the dairy food sector - The case study of Portuguese traditional cheese industries. *24th International Congress of Refrigeration (ICR 2015), Yokohama, Japão*.
- Nunes, J., Silva, P. D., Andrade, L. P., Gaspar, P. D., Cuce, P. M., Cuce, E., & Yilmaz, Y. N.

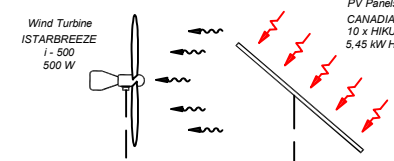
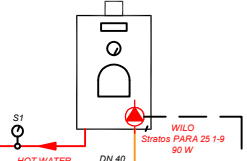
- (2025). Energy efficiency in portuguese traditional cheese industries: A comprehensive case study. *Energies*, 18 (3), 562. <https://doi.org/10.3390/en18030562>
- Nunes, L. J. R., Casau, M., & Dias, M. F. (2021). Portuguese wood pellets market: Organization, production and consumption analysis. *Resources*, 10, 130. Analysis. <https://doi.org/10.3390/resources10120130>
- Oliveira, R. M. P. (2022). *Gestão técnica de carregamento de veículos elétricos em edifícios inteligentes* (Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa).
- OMIE. (2025). *Preço do mercado diário*. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://www.omie.es/pt/market-results/daily/daily-market/day-ahead-price>
- Panchal, H., Patel, R., Chaudhary, S., Patel, D. K., Sathyamurthy, R., & Arunkumar, T. (2018). Solar energy utilisation for milk pasteurisation: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.068>
- Portugal. Presidência do Conselho de Ministros. (2019). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho de 2019*. Diário da República, série I, n.º 123/2019, 3208–3299. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/107-2019-122777644>
- Portugal. Presidência do Conselho de Ministros. (2022). *Decreto-Lei n.º 84/2022, de 9 de dezembro*. Diário da República, série I, n.º 236/2022, 8-45. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/84-2022-204502328>
- Portugal. Presidência do Conselho de Ministros. (2024). *Decreto-Lei n.º 99/2024, de 3 de dezembro*. Diário da República, série I, n.º 234/2024. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/99-2024-898705893>
- Portugal. Ministério da Economia e do Mar. (2021). *Componente 11 - Descarbonização da Indústria*. Plano de Recuperação e Resiliência. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://recuperarportugal.gov.pt/transicao-climatica/descarbonizacao-da-industria/>
- Riva, A. D., Burek, J., Kim, D., Thoma, G., Cassandro, M., & Marchi, M. D. (2018). The environmental analysis of asiago PDO cheese: a case study from farm gate-to-plant gate. *Italian Journal of Animal Science*, 17, 250-262. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1344936>
- Rodrigues, H. A., Tavarina, F. K., Santos, M. T. P. G., Alvarenga, N., & Pintado, M. M. (2020). A review on microbiological and technological aspects of Serpa PDO cheese: An ovine raw milk cheese. *International Dairy Journal*, 100, 104561. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104561>
- Semedo, A. A. T. (2023). Projeto de instalação frigorífica com utilização de energia eólica, solar fotovoltaica e correntes marítimas para Cabo Verde (Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa).
- Shi, Z., Liang, F., & Pezzuolo, A. (2024). Renewable energy communities in rural areas: A comprehensive overview of current development, challenges, and emerging trends. *Journal of Cleaner Production*, 484, 144336. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144336>
- Silvério, K. S., Freitas, D., & Dias, J. M. (2025). Energy footprint of cheese: A critical review of the environmental impact and opportunities for sustainability. *Applied Sciences*, 15, 8072. <https://doi.org/10.3390/app15148072>
- Simões, S. G., Simões, T., Barbosa, J., Rodrigues, C., Azevedo, P., Cardoso, J. P., Facão, J., Costa, P. A., Justino, P., Gírio, F., Reis, A., Passarinho, P. C., Duarte, L., Moura, P., Abreu, M., Estanqueiro, A., Couto, A., Oliveira, P., Quental, L., Patinha, P., Catarino, J., & Picado, A. (2023). *Estimativa de potenciais técnicos de energia renovável em Portugal - eólico, solar fotovoltaico, solar concentrado, biomassa e oceanos* (Relatório Técnico). Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Acedido em 28 novembro 2025, de <http://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/4077>
- Solanki, A., & Pal, Y. (2021). A comprehensive review to study and implement solar energy in dairy industries. *Journal of Thermal Engineering*, 7 (5), 1216-1238. <https://doi.org/10.18186/thermal.978029>
- Solargis. (2021). *Solar resource maps & GIS data for Europe*. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=europe>
- SolaX Power. (2025). *SolaX Cloud - Centro de utilizador*. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://www.solaxcloud.com/user-center/>
- SWEP International AB. (2016). *Technical handbook for refrigeration applications*. Landskrona, Suécia.
- Tomasula, P. M., Yee, W. C. F., McAloon, A. J., Nutter, D. W., & Bonnaillie, L. M. (2013). Computer simulation of energy use, greenhouse gas emissions, and process economics of the fluid milk process. *Journal of Dairy Science*, 96, 3350–3368. <https://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6215>

- Tuszynski, W. B., Diakowska, E. A. A., & Hall, N. S. (1983). *Energy in established milk collection and processing* (Cap. 2). *Solar energy in small-scale milk collection and processing* (FAO Animal Production and Health Paper No. 39). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Acedido em 28 novembro 2025, de <https://www.fao.org/4/X6541E/X6541E02.htm>
- União Europeia. (2012). *Regulamento (UE) n.º 1151/2012 do parlamento europeu e do conselho relativo aos regimes de qualidade dos produtos agrícolas e dos géneros alimentícios*. Jornal Oficial da União Europeia, L 343/1.
- União Europeia. (2023). *Diretiva (UE) 2023/2413 do parlamento europeu e do conselho, de 18 de outubro de 2023, que altera a Diretiva (UE) 2018/2001, o Regulamento (UE) 2018/1999 e a Diretiva 98/70/CE no que respeita à promoção de energia de fontes renováveis e que revoga a Diretiva (UE) 2015/652 do Conselho*. Jornal Oficial da União Europeia, L 2023/2413. Acedido em 28 novembro 2025, de <http://data.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj>
- União Europeia. (2018). *Regulamento (UE) 2018/1999 do parlamento europeu e do conselho, de 11 de dezembro de 2018, relativo à Governança da União da Energia e da Ação Climática, que altera os Regulamentos (CE) n.º 663/2009 e (CE) n.º 715/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho, as Diretivas 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE e 2013/30/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, as Diretivas 2009/119/CE e (UE) 2015/652 do Conselho, e revoga o Regulamento (UE) n.º 525/2013 do Parlamento Europeu e do Conselho*. Jornal Oficial da União Europeia, L 328/1.
- van Middelaar, C. E., Berentsen, P. B. M., Dolman, M. A., & de Boer, I. J. M. (2011). Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese. *Livestock Science*, 139, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.013>
- Xu, T., Flapper, J., & Kramer, K. J. (2009). Characterization of energy use and performance of global cheese processing. *Energy*, 34, 1993-2000. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.08.014>
- Zalba, B., Marín, J. M., Cabeza, L. F., & Mehling, H. (2003). Review on thermal energy storage with phase change: Materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*, 23(3), 251–283. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00192-8](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00192-8)

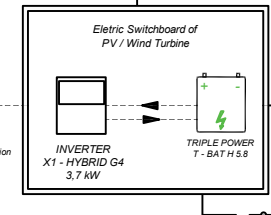
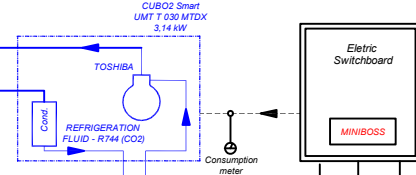
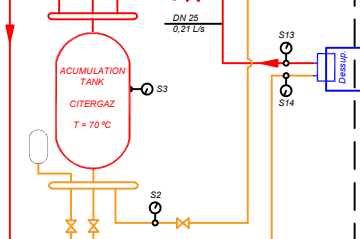
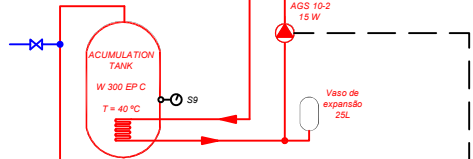
## **Anexo 1 - Esquema do sistema**



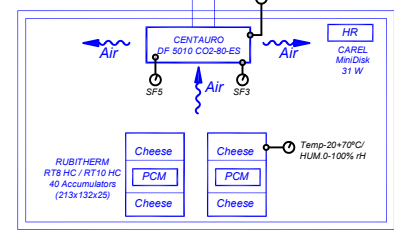
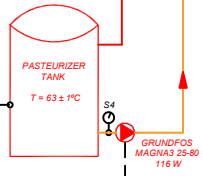
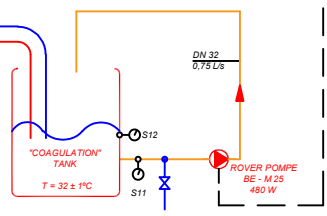
PELLETS BOILER ECOFOREST, CANTINA NOVA 30 kW



TRANSFORMATION/ACUMULATION



DEMAND



1° Phase - 8 a 10°C e 95 a 100%HR  
2° Phase - 10 a 14°C e 85 a 90%HR

## **Anexo 2 - Características técnicas dos equipamentos**

## Anexo 2.1 - Painéis solares fotovoltaicos



# HiKu6 Mono PERC

530 W ~ 555 W

CS6W-530 | 535 | 540 | 545 | 550 | 555MS

## MORE POWER



Module power up to 555 W  
Module efficiency up to 21.6 %



Up to 4.5 % lower LCOE  
Up to 5.6 % lower system cost



Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation



Compatible with mainstream trackers, cost effective product for utility power plant



Better shading tolerance

## MORE RELIABLE



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa\*



Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship\*



Linear Power Performance Warranty\*

1<sup>st</sup> year power degradation no more than 2%  
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

\*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

## MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2015 / Quality management system  
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

## PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO / MCS / UKCA  
CEC listed (US California)  
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68  
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way



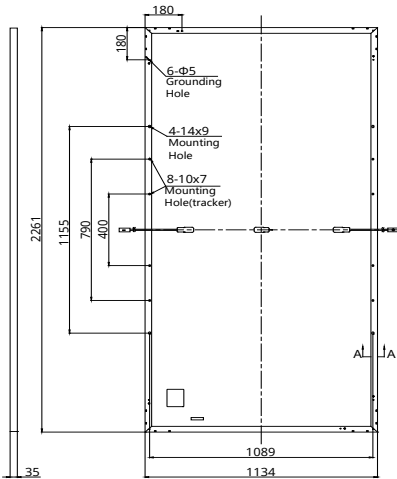
\* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your Product and applicable in the regions in which the products will be used.

CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar photovoltaic modules, solar energy and battery storage solutions to customers. The company was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey. Over the past 20 years, it has successfully delivered over 63 GW of premium-quality solar modules across the world.

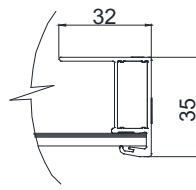
\* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

## ENGINEERING DRAWING (mm)

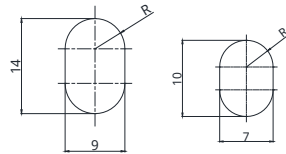
### Rear View



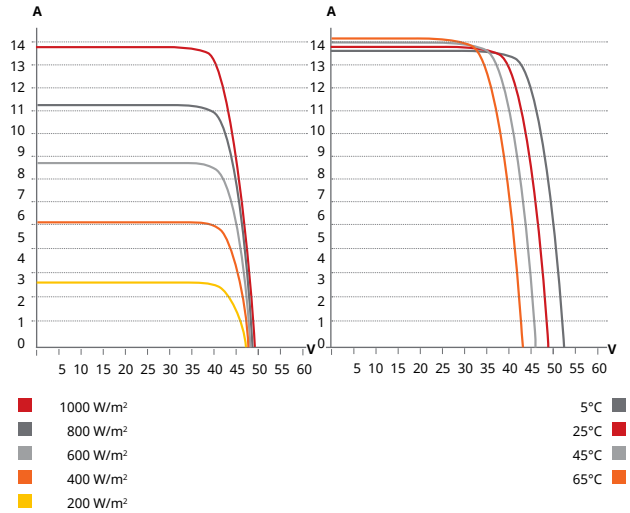
### Frame Cross Section A-A



### Mounting Hole



## CS6W-530MS / I-V CURVES



## ELECTRICAL DATA | STC\*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W	555 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V	41.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A	13.25 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V
Short Circuit Current (Isc)	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A	14.05 A
Module Efficiency	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%	21.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	25 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

## MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2261 × 1134 × 35 mm (89.0 × 44.6 × 1.38 in)
Weight	27.8 kg (61.3 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	410 mm (16.1 in) (+) / 290 mm (11.4 in) (-) or customized length*
Connector	T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	600 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

## ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	397 W	401 W	405 W	409 W	412 W	416 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.38 A	10.42 A	10.47 A	10.52 A	10.55 A	10.59 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.1 V	46.3 V	46.5 V	46.7 V	46.9 V	47.1 V
Short Circuit Current (Isc)	11.13 A	11.17 A	11.21 A	11.25 A	11.29 A	11.33 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup> spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

## PARTNER SECTION



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.

199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

## Anexo 2.2 - Turbina eólica



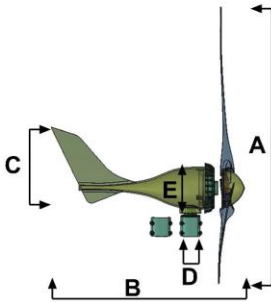
İSTA BREEZE



### İSTA BREEZE 500 W Wind Turbine



i-500



- A..... 132 cm
- B..... 65 cm
- C..... 27 cm
- D..... 55 mm
- E..... 17 cm

#### WIND TURBINE

Maximum Capacity ..... 500 w  
 Average Capacity ..... 400 w  
 Start-up Wind Speed..... 3 m/s  
 Cut-out Wind Speed..... 45 m/s  
 Optimum Wind Speed ..... 12,5 m/s

#### ROTOR

Number of Blades..... 3  
 Rotor Diameter ..... 132 cm

#### BLADE

Material ..... Plastik + %30 Fiber  
 Length..... 61 cm  
 Width ..... 13 cm  
 Weight..... 220 g

#### GENERATOR

Type ..... MAGNET  
 Nominal Voltage ..... 12 V or 24 W AC  
 Weight Turbine ..... 9,9 lbs

#### 24 MONTH WARRANTY

#### CONTRIL SYSTEM

Controller..... (optional)



*" We work for a green planet "*

## Anexo 2.3 - Coletores solares

# Dados técnicos

## Coletores solares

Características	PremiumSun	PremiumSun	WarmSun	WarmSun	Compacto
Modelo	FKT-2S	FKT-2W	FKC-2S	FKC-2W	FCC-2S
					
Montagem	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Dimensões A x L x P (mm)	2170 x 1175 x 87	1175 x 2170 x 87	2017 x 1175 x 87	1175 x 2017 x 87	2026 x 1032 x 67
Área total (m <sup>2</sup> )	2.55	2.55	2.37	2.37	2.09
Área útil abertura (m <sup>2</sup> )	2.426	2.426	2.25	2.25	1.936
Área do absorvedor (m <sup>2</sup> )	2.350	2.370	2.18	2.18	1.921
Volume do coletor (l)	1.61	1.95	0.94	1.35	0.80
Peso em vazio (kg)	45	45	40	41	30
Pressão máxima trabalho (bar)	10	10	6	6	6
Caudal nominal (l/h)	50	50	50	50	50
Material da caixa	Fibra de vidro numa só peça (SMC)		Fibra de vidro numa só peça (SMC)		Alumínio
Isolamento* (mm)	Lã mineral (55)	Lã mineral (55)	Lã mineral (55)	Lã mineral (55)	Lã mineral (25)
Espessura de vidro (mm)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Coletor	Altamente seletivo	Altamente seletivo	Altamente seletivo	Altamente seletivo	Altamente seletivo
Tratamento Coletor	PVD	PVD	PVD	PVD	PVD
Circuito hidráulico	Dupla serpentina	Dupla serpentina	Grelha de tubos	Grelha de tubos	Grelha de tubos

\* Isolamento para gamas PremiumSun e WarmSun de 55 mm de espessura e isolamento para gama Compacto de 25 mm.  
Nota: Todos os coletores possuem certificado CE/Solar Keymark.

### Curva de rendimento instantâneo segundo EN 12975-2 (baseada na área de abertura)

Modelo	PremiumSun		WarmSun		Compacto	
	FKT-2S	FKT-2W	FKC-2S	FKC-2W	FCC-2S	
Rendimento ótico - Fator de eficiência		0.794	0.802	0.766	0.770	0.761
Coef. perda linear	W/m <sup>2</sup> K	3.863	3.833	3.216	3.871	4.008
Coef. perda secundário	W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>	0.013	0.015	0.015	0.012	0.013

## Anexo 2.4 - Caldeira de pellets

hide

### Caraterísticas Técnicas - Ecoforest Cantina Nova

Características Técnicas	
Dimensões (mm)	L1078 × A1144 × P667
Capacidade de Depósito	até 116 Kg
Peso	330 Kg
Potência	30 Kw
Rendimento	93,1%
Consumo pellets min/max	2.900/ 6.500 gr/h
Autonomia min/máxima	18 h / 40 h
Combustível	Pellets, Cascas de amêndoa e Caroco de azeitona
Saída de Gases Ø	100 mm

## Anexo 2.5 - Bateria

# TRIPLE POWER

- A bateria de LiFePO4 mais segura
- 90% de PD (profundidade de descarga)
- Ciclo de vida >6000 vezes
- Nível de proteção IP55
- Montagem no solo ou na parede
- Menos autoconsumo
- Instalação rápida
- Sem metais pesados tóxicos nem materiais cáusticos



**TRIPLE**  
POWER

Global: +86 571-56260011

E-mail: [info@triple-power.com](mailto:info@triple-power.com)

## Lista de configuração da T-BAT SYS-HV

### T-BAT H 5.8

Tensão nominal [V]	115,2
Tensão de funcionamento [V]	100-131
Tipo de bateria	Iões de lítio (LFP)
Capacidade nominal [kWh]	5,8
Capacidade utilizável [kWh]	5,2
Eficiência da carga farádica [%]	99
Eficiência da rotação da bateria [%]	95
Potência normalizada [kW]	2,9
Potência máxima [kW]	4,0
Corrente de carga/descarga recomendada [A]	25
Corrente de carga/descarga máxima [A]	35
Ciclo de vida [90% de profundidade de descarga (PD)]	>6000 ciclos
Garantia [Anos]	10
Gama de temperaturas de funcionamento disponível [°C]	0 a 55
Gama de temperaturas de funcionamento com carga plena [°C]	5 a 48
Humidade [%]	4 a 100 (condensável)
Altitude [m]	Abaixo de 2000
Proteção	IP55
Comunicação sistema-inversor	CAN2.0
Comunicação bateria-bateria/BMS (sistema de gestão de baterias)	RS485
Porta de recolha de dados/ATUALIZAÇÃO DE FIRMWARE	CAN2.0
Indicador do modo de funcionamento de controlo principal	1 LED
Indicador de capacidade de controlo principal	4 LEDs (25%, 50%, 75%, 100%)
LED do módulo da bateria	2 LEDs
Reposição	Botão
Interruptor LIGAR/DESLIGAR	1 botão + 1 disjuntor
Segurança	CE, RCM, TUV (IEC 62619) UL1973, ROHS, REACH
Número UN	UN3840
Classificação relativa a materiais perigosos	Classe 9
Norma de ensaio de transportes	UN38.3
Dimensões (C x L x A) [mm]	474 x 193 x 708 (T-BAT H 5.8)/474 x 193 x 647 (HV11550)
Peso [kg]	72,2 (T-BAT H 5.8)/68,5 (HV11550)

\*A bateria Triple Power pode ser escalável para até 4 módulos, num total de 23,2 kWh.

## Anexo 2.6 - Inversor



NEW FROM SOLAX

# X1-HYBRID G4



## Features

### High-efficient

- 200% PV oversized and up to 110% AC overload output
- Higher efficiency on charging and discharging, up to 97.0%
- Built-in shadow tracking function

### Economic

- 16A DC input current, support high power solar panel
- Up to 150% PV input
- Store the surplus energy from PV to battery
- Low start output voltage makes inverter longer working time
- Less energy loss on battery to inverter

### Intelligent

- Up to 120% EPS output for 1h
- Switchover time <10ms
- Quick configuration with U-disk
- Lithium-ion & Lead-acid battery compatible
- CT compatible, loads respond within 0.3s
- Intelligent loads management (e.g., Heat pump)
- On & Off-grid parallel function, up to 15kW
- 5 work modes, 2 charging periods available
- VPP ready, ancillary service in power market

### Safe

- IP65 protection level
- Integrated SPD

## X1-Hybrid G4

3.0kW/3.7kW/4.6kW/  
5.0kW/6.0kW/7.5kW

info@solaxpower.com  
service@solaxpower.com



### For More Informations Contact Us

www.solaxpower.com

AU: +61 1300 476529

DE: +49 6142 4091664

Global: +86 571-56260008

UK: +44 2476 586998

NL: +31 (0) 852 737932



# X1-HYBRID G4 (SINGLE-PHASE)

X1-HYBRID-3.0-D    X1-HYBRID-3.7-D    X1-HYBRID-4.6-D    X1-HYBRID-5.0-D    X1-HYBRID-6.0-D    X1-HYBRID-7.5-D  
 X1-HYBRID-3.0-M    X1-HYBRID-3.7-M    X1-HYBRID-4.6-M    X1-HYBRID-5.0-M    X1-HYBRID-6.0-M    X1-HYBRID-7.5-M

## DC INPUT

Max. PV array power [Wp]	6000	7400	9200	10000	12000	15000
Max. PV input power <sup>①</sup> (PV1+PV2) [Wp]	4500	5500	6900	7500	9000	10000
Max. PV input voltage [V]	600	600	600	600	600	600
Start output voltage [V]	90	90	90	90	90	90
Nominal input voltage [V]	360	360	360	360	360	360
MPPT voltage range [V]	70 ~ 550	70 ~ 550	70 ~ 550	70 ~ 550	70 ~ 550	70 ~ 550
No. of MPPT trackers / Strings per MPP tracker	2 (1/1)	2 (1/1)	2 (1/1)	2 (1/1)	2 (1/1)	2 (1/1)
Max. input current (input PV1 / input PV 2) [A]	16 / 16	16 / 16	16 / 16	16 / 16	16 / 16	16 / 16
Max. short circuit current (input PV1 / input PV 2) [A]	20 / 20	20 / 20	20 / 20	20 / 20	20 / 20	20 / 20

## AC INPUT & OUTPUT

Nominal AC output power [W]	3000	3680	4600	5000 <small>(Germany 4600, AU 4999)</small>	6000	7500
Max. AC output apparent power [VA]	3300	3680	4999 <small>(Germany 4600)</small>	5500 (4600 for VDE4105, 4999 for AS4777)	6600	7500
Max. AC output current [A]	14.4	16	21.7 <small>(Germany 20)</small>	23.9 <small>(Germany 20, AU 21.7)</small>	28.6	32.6
Max. AC input apparent power [VA]	6300	7360	9200	9200	9200	9200
Max. AC input current [A]	27.4	32	40	40	40	40
Nominal AC voltage [V]	230 / 240					
Nominal grid frequency [Hz]	50 / 60					
Displacement power factor	0.8 leading ~ 0.8 lagging					
THDi (rated power) [%]	<2					

## BATTERY DATA

Battery type	Lithium-ion battery / Lead-acid Battery					
Battery voltage range [V]	80 ~ 480					
Max. continuous charge / discharge current [A]	30					

## EPS (OFF-GRID OR BACK-UP) OUTPUT (WITH BATTERY)

Nominal output power [W]	3000	3680	4600	5000	6000	7500
Peak apparent power [VA]	3600, 1h	4416, 1h	5520, 1h	6000, 1h	7200, 10min	7500
Max. continuous current [A]	13	16	21.7	21.7	26.1	32.6
Nominal voltage [V]; Frequency [Hz]	230; 50 / 60					
Switch time [ms]	<10					
Parallel operation	YES					

## SYSTEM DATA

Max. efficiency [%]	97.6					
Euro. efficiency [%]	97.0					
Battery charge / discharge efficiency [%] <sup>②</sup>	97.0 / 97.0					
Degree of protection	IP65					
Operating temperature range [°C]	-35 ~ +60 (Derating above +45)					
Max. operation altitude [m]	<3000					
Relative humidity [%]	0 ~ 100					
Typical noise emission [dB]	<30					
Storage temperature [°C]	-40 ~ +65					
Dimensions (WxHxD) [mm]	482x417x181					
Net weight [kg]	24					
Cooling concept	Nature cooling					
Communication interfaces	Smart cooling					

## POWER CONSUMPTION

Internal consumption (night) [W]	<17W for standby, <2.7W for idle					
----------------------------------	----------------------------------	--	--	--	--	--

## STANDARD

Safety	EN/IEC62109-1/-2					
EMC	EN61000-6-1/2/3/4; EN61000-3-2/3/11/12					
Certification	VDE4105, G99, G98, AS4777, EN50549, CEI 0-21, IEC61727, RD1699, NRS 097-2-1, PEA/MEA, VFR2019, C10/11					

①: Indicates that all model single PV1 & PV2 input power upper limit is 5000 W. ["Max. PV input power<sup>①</sup> (PV1+PV2)" restriction takes precedence].

②: PV to BAT Max. efficiency 97.0%, BAT to AC Max. efficiency 97.0%.

## Anexo 2.7 - Evaporador



# DF-DFL CO2

Evaporadores de duplo fluxo  
Double flow coolers

DF CO2 4,2 mm

DFL CO2 6,3 mm

Ø200 mm ► Ø254 mm

2,58 kW ► 6,35 kW

DF - DFL  
CO2

TA - TAL  
CO2

BXN - BXL  
CO2

RWM - BWM  
CO2

CBN - CBL  
CO2

MT - DD  
CO2

DFK - CBK  
CO2

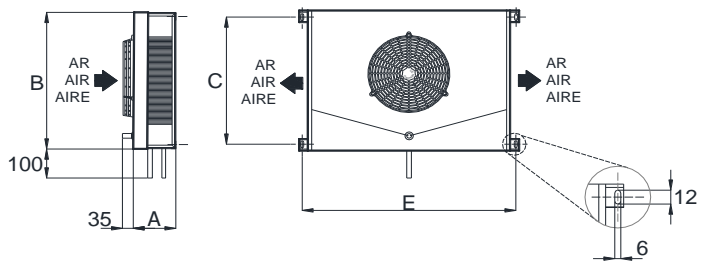
Modelo Type	Capacidade QSm Capacity QSm (TC=+2°C / DTm=8K)	Capacidade QS1 Capacity Qs1 (Tse=+4°C / DT1=10K)	Superfície Surface	Volume interno Internal Volume	Ventiladores Fans							
					Nº.	Diâmetro Diameter	Caudal de ar Air flow	Projeção ar Air throw	Rotação Revolutions	Potência total Total power	Corrente total Total current	Alimentação MPS
	kW		m <sup>2</sup>	dm <sup>3</sup>		mm	m <sup>3</sup> /h	m	rpm	W	A	V / F / Hz
DF 508 CO2	3,52	3,37	13,60	2,60	2	254	1200	4,0	1300	140	0,96	230/1/50
DF 5010 CO2	3,99	3,82	17,00	3,23	2	254	1160	4,0	1300	140	0,96	230/1/50
DF 5012 CO2	5,69	5,45	20,40	3,70	3	254	1800	4,0	1300	210	1,44	230/1/50
DF 5014 CO2	6,35	6,08	25,50	4,63	3	254	1740	4,0	1300	210	1,44	230/1/50
DF 508 CO2-ES	3,47	3,31	13,60	2,60	2	200	1160	4,0	2000	68	0,52	230/1/50
DF 5010 CO2-ES	3,91	3,73	17,00	3,23	2	200	1120	4,0	2000	68	0,52	230/1/50
DF 5012 CO2-ES	5,57	5,32	20,40	3,70	3	200	1740	4,0	2000	102	0,78	230/1/50
DF 5014 CO2-ES	6,22	5,94	25,50	4,63	3	200	1680	4,0	2000	102	0,78	230/1/50
DFL 509 CO2	2,81	2,87	9,40	2,60	2	254	1300	4,5	1300	140	0,96	230/1/50
DFL 5011 CO2	3,24	3,31	11,80	3,23	2	254	1240	4,5	1300	140	0,96	230/1/50
DFL 5013 CO2	4,61	4,71	14,10	3,70	3	254	1950	4,5	1300	210	1,44	230/1/50
DFL 5015 CO2	5,20	5,32	17,70	4,63	3	254	1860	4,5	1300	210	1,44	230/1/50
DFL 509 CO2-ES	2,58	2,63	9,40	2,60	2	200	1200	4,5	2000	68	0,52	230/1/50
DFL 5011 CO2-ES	3,05	3,11	11,80	3,23	2	200	1160	4,5	2000	68	0,52	230/1/50
DFL 5013 CO2-ES	4,28	4,36	14,10	3,70	3	200	1800	4,5	2000	102	0,78	230/1/50
DFL 5015 CO2-ES	4,88	4,98	17,70	4,63	3	200	1740	4,5	2000	102	0,78	230/1/50

Modelo Type	45BAR	60BAR	80BAR	Opções Options					
	Preço sem resistências Price without heaters	Preço sem resistências Price without heaters	Preço sem resistências Price without heaters	/E Descongelamento Electrical defrost	AR Alhetas revestidas Coated fins	BI Chaparia Inox Stainless steel casing	TI Tab. esgoto isolado Insul. drain pan	BR Bateria resistências Heater coil	RG Resistências gola Fan heaters
	EUR			EUR					
DF 508 CO2	670,6	789,2	1179,2	74,9	147,0	198,8	-	157,0	-
DF 5010 CO2	745,6	892,0	1329,3	73,5	184,5	198,8	-	232,0	-
DF 5012 CO2	932,8	1090,0	1615,3	82,0	191,6	272,3	-	183,0	-
DF 5014 CO2	1036,2	1215,4	1825,9	152,8	232,0	272,3	-	266,6	-
DF 508 CO2-ES	876,3	994,9	1384,9	74,9	147,0	198,8	-	157,0	-
DF 5010 CO2-ES	951,4	1097,8	1535,0	73,5	184,5	198,8	-	232,0	-
DF 5012 CO2-ES	1241,4	1398,7	1923,9	82,0	191,6	272,3	-	183,0	-
DF 5014 CO2-ES	1344,8	1523,9	2134,5	152,8	232,0	272,3	-	266,6	-
DFL 509 CO2	651,0	766,3	1144,9	74,9	150,0	198,8	-	157,0	-
DFL 5011 CO2	723,9	866,1	1290,6	73,5	187,3	198,8	-	232,0	-
DFL 5013 CO2	905,6	1058,3	1568,2	82,0	224,8	272,3	-	183,0	-
DFL 5015 CO2	1006,0	1179,9	1772,8	152,8	281,1	272,3	-	266,6	-
DFL 509 CO2-ES	856,8	971,9	1350,6	74,9	150,0	198,8	-	157,0	-
DFL 5011 CO2-ES	929,7	1071,8	1496,2	73,5	187,3	198,8	-	232,0	-
DFL 5013 CO2-ES	1214,1	1366,9	1876,8	82,0	224,8	272,3	-	183,0	-
DFL 5015 CO2-ES	1314,5	1488,6	2081,3	152,8	281,1	272,3	-	266,6	-

**S** Standard  
Standard

**SP** Sob pedido  
Under request

- Indisponível  
Not available



	Resistências da bateria Coil heaters			Ligações Connections			Dimensões Dimensions				Peso em vazio Net weight kg	Volume embarque Shipment volume m³	Modelo Type
	Potência total Total power kW	Corrente total Total current A	Alimentação MPS V / F	Entrada Inlet in	Saída Outlet in	Esgoto Drain 3/4	A	B	C	E			
	1,68	7,3	230/1	1/2	5/8	3/4	192	868	836	720	25,0	0,35	DF 508 CO2
	2,00	8,7	230/1	1/2	5/8	3/4	192	868	836	720	28,0	0,35	DF 5010 CO2
	2,40	10,43	230/1	1/2	5/8	3/4	202	1218	1186	720	38,0	0,48	DF 5012 CO2
	3,20	13,91	230/1	1/2	5/8	3/4	202	1218	1186	720	41,0	0,48	DF 5014 CO2
	1,68	7,3	230/1	1/2	5/8	3/4	192	868	836	720	25,0	0,35	DF 508 CO2-ES
	2,00	8,7	230/1	1/2	5/8	3/4	192	868	836	720	28,0	0,35	DF 5010 CO2-ES
	2,40	10,43	230/1	1/2	5/8	3/4	202	1218	1186	720	38,0	0,48	DF 5012 CO2-ES
	3,20	13,91	230/1	1/2	5/8	3/4	202	1218	1186	720	41,0	0,48	DF 5014 CO2-ES
	1,68	7,3	230/1	1/2	5/8	3/4	192	868	836	720	25,0	0,35	DFL 509 CO2
	2,00	8,7	230/1	1/2	5/8	3/4	192	868	836	720	28,0	0,35	DFL 5011 CO2
	2,40	10,43	230/1	1/2	5/8	3/4	202	1218	1186	720	38,0	0,48	DFL 5013 CO2
	3,20	13,91	230/1	1/2	5/8	3/4	202	1218	1186	720	41,0	0,48	DFL 5015 CO2
	1,68	7,3	230/1	1/2	5/8	3/4	192	868	836	720	25,0	0,35	DFL 509 CO2-ES
	2,00	8,7	230/1	1/2	5/8	3/4	192	868	836	720	28,0	0,35	DFL 5011 CO2-ES
	2,40	10,43	230/1	1/2	5/8	3/4	202	1218	1186	720	38,0	0,48	DFL 5013 CO2-ES
	3,20	13,91	230/1	1/2	5/8	3/4	202	1218	1186	720	41,0	0,48	DFL 5015 CO2-ES

DF - DFL CO2  
TA - TAL CO2  
BXN - BXL CO2  
BXN - BXL CO2  
RWK - BWK CO2  
RWK - BWK CO2  
CBN - CBL CO2  
MT - DD CO2  
DFK - CBK CO2

DF - DFL CO2							
RCm	DTm [K]						
	10	9	8	7	6	5	4
TC +5	1,352	1,217	1,082	0,947	0,813	0,707	0,588
TC +2	1,250	1,125	1,000	0,893	0,772	0,665	0,539
TC 0	1,188	1,069	0,950	0,830	0,710	0,609	0,490
TC -15	1,018	0,918	0,830	0,730	0,640	0,539	0,434
TC -20	0,963	0,867	0,770	0,660	0,583	0,490	0,393
TC -25	0,950	0,854	0,764	0,649	0,567	0,476	0,385

DF - DFL CO2						
RC1	DT1 [K]					
	10	9	8	7	6	5
TC +10	1,023	0,921	0,818	0,716	0,553	0,435
TC +8	1,016	0,914	0,812	0,710	0,548	0,430
TC +6	1,008	0,907	0,806	0,705	0,544	0,428
TC +4	1,000	0,900	0,800	0,700	0,540	0,425
TC +2	0,947	0,852	0,758	0,663	0,511	0,403
TC 0	0,871	0,784	0,697	0,610	0,471	0,371
TC -2	0,856	0,770	0,685	0,599	0,463	0,364
TC -4	0,848	0,763	0,678	0,594	0,458	0,360
TC -6	0,841	0,757	0,673	0,589	0,455	0,358
TC -8	0,833	0,750	0,666	0,583	0,450	0,354
TC -10	0,826	0,743	0,661	0,578	0,446	0,351
TC -12	0,818	0,736	0,654	0,573	0,442	0,348
TC -14	0,811	0,730	0,649	0,568	0,438	0,345
TC -16	0,803	0,723	0,642	0,562	0,434	0,342
TC -18	0,795	0,716	0,636	0,557	0,429	0,338
TC -20	0,788	0,709	0,630	0,552	0,426	0,335
TC -22	0,773	0,696	0,618	0,541	0,418	0,329
TC -25	0,758	0,682	0,606	0,531	0,410	0,322

FC2	Aluminio Aluminium	Aluminio revestido Coated aluminium	Cobre Copper
	1,00	0,97	1,03

Exemplo cálculo capacidade Capacity calculation example

DF 508 CO2 TC=0°C DTm=5K R744 Alhetas aluminio Aluminium fins	$Q_{0m} = Q_{Sm} \times RCm \times FC2 \text{ [kW]}$ $Q_{0m} = 3,52 \times 0,609 \times 1,00 = 2,14 \text{ kW}$
--	---

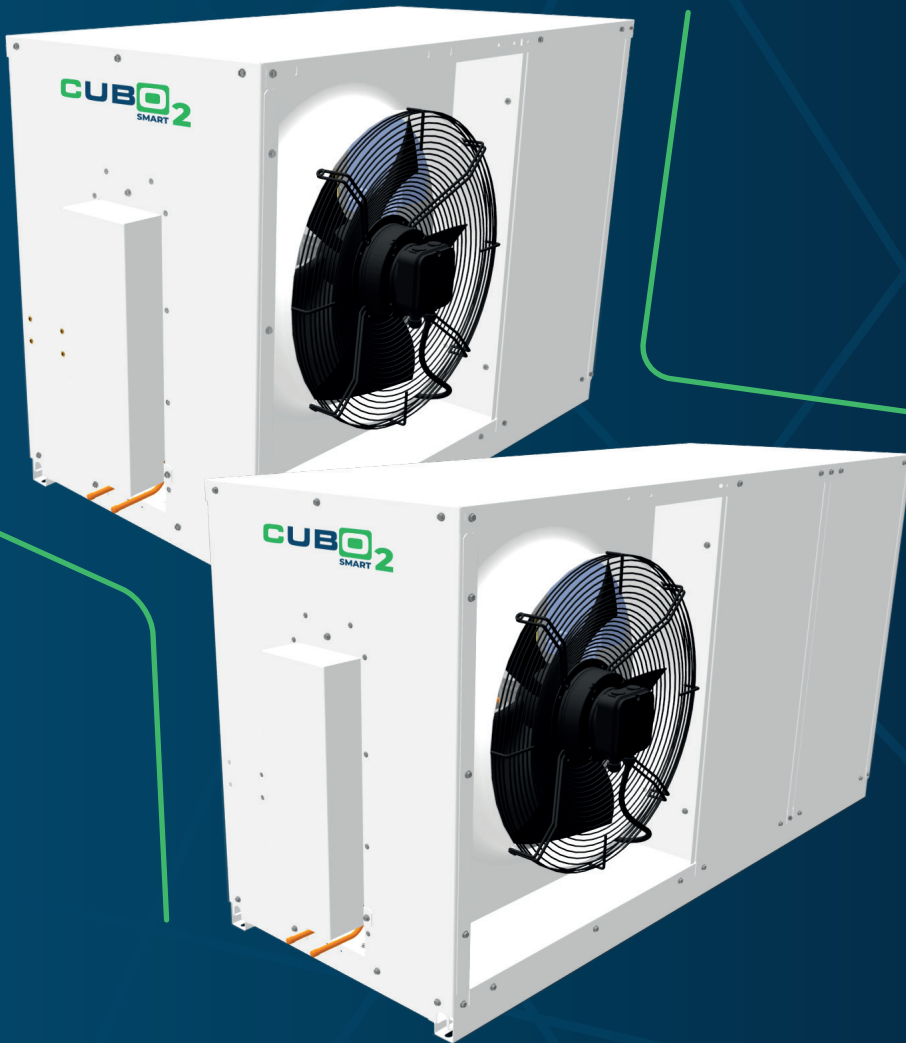
Dados nominais unitários ventiladores Fan nominal unitary data			
Ø200	Potência Power	Corrente Current	Vel. rotação Revolutions
	W	A	rpm
	34	0,26	2000

## Anexo 2.8 - Unidade de condensação

# CUBO<sub>2</sub> SMART

# SCM FRIGO

## Transcritical CO<sub>2</sub>ndensing Units



CO<sub>2</sub>  
REFRIGERANT

Efficiency  
EFFICIENT  
SOLUTION

LOW NOISE

SMALL  
FOOTPRINT

EASY  
START-UP

DC  
BRUSHLESS  
ROTARY  
COMPRESSOR

GAS  
COOLER  
EQUIPPED

**BEIJER REF**

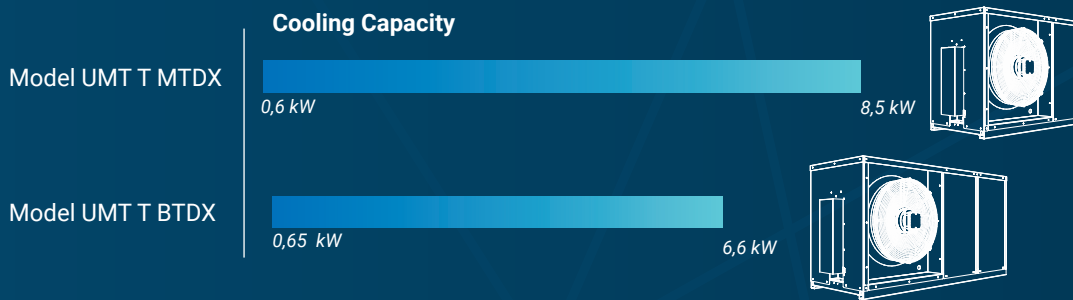
We know the art of achieving  
a perfect temperature.

Download this brochure  
on your device:



# CO<sub>2</sub> Systems for medium and low temperature applications

## Transcritical condensing units DX



### Preliminary Data

### MEDIUM TEMPERATURE

UMT T 030 MTDX

T amb [°C]	Evaporation Temperature [°C]														
	-15			-10			-5			0			5		
	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP
min	max	min		max	min		max	min		max	min		max	min	
40	429	2140	1,38	523	2507	1,58	575	2759	1,59	674	3143	1,79	787	3541	2,04
38	440	2165	1,44	526	2514	1,59	622	2889	1,80	727	3283	2,04	850	3704	2,31
32	455	2181	1,54	551	2548	1,76	653	2939	2,02	768	3362	2,32	905	3826	2,68
20	553	2490	2,25	671	2944	2,67	804	3454	3,20	959	4029	3,88	1145	4678	4,78
MEPS	1,76 (according to Ecodesign Directive EN 2009/125/EC)								I Liquid receiver 2x2,4 liters						
V/Ph/Hz	230/1+N+PE/50								II Liquid receiver 8 liters						

UMT T 045MTDX

T amb [°C]	Evaporation Temperature [°C]														
	-15			-10			-5			0			5		
	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP
min	max	min		max	min		max	min		max	min		max	min	
40	648	3233	1,38	789	3785	1,58	868	4165	1,59	1018	4746	1,79	1188	5346	2,01
38	665	3270	1,46	794	3796	1,59	939	4362	1,80	1098	4957	2,04	1283	5593	2,31
32	686	3293	1,54	832	3847	1,76	986	4437	2,02	1160	5077	2,32	1366	5778	2,68
20	836	3761	2,25	1013	4445	2,67	1214	5215	3,20	1449	6084	3,88	1729	7064	4,78
MEPS	1,76 (according to Ecodesign Directive EN 2009/125/EC)								I Liquid receiver 2x2,4 liters						
V/Ph/Hz	230/1+N+PE/50								II Liquid receiver 8 liters						

UMT T 067MTDX

T amb [°C]	Evaporation Temperature [°C]														
	-15			-10			-5			0			5		
	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP
min	max	min		max	min		max	min		max	min		max	min	
40	1038	4753	1,4	1242	5489	1,57	1459	6296	1,75	1690	7159	1,96	1822	8063	2,18
38	1061	4755	1,45	1266	5504	1,63	1485	6325	1,83	1721	7205	2,05	1975	8129	2,29
32	1094	4722	1,57	1307	5508	1,79	1541	6385	2,04	1796	7328	2,31	2042	8251	2,51
20	1375	5537	2,35	1647	6553	2,76	1952	7664	3,22	2291	8856	3,76	2581	9829	4,11
MEPS	3,44 (according to Ecodesign Directive EN 2009/125/EC)								I Liquid receiver 2x2,4 liters						
V/Ph/Hz	230/1+N+PE/50								II Liquid receiver 8 liters						

UMT T 100 MTDX

T amb [°C]	Evaporation Temperature [°C]														
	-15			-10			-5			0			5		
	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP	Cooling Cap. [W]		COP
min	max	min		max	min		max	min		max	min		max	min	
40	1549	7904	1,56	1854	8193	1,57	2028	9113	1,57	2365	10366	1,75	2719	11672	1,94
38	1583	7098	1,45	1864	8202	1,58	2188	9411	1,77	2534	10704	1,98	2890	12034	2,18
32	1619	7047	1,53	1933	8211	1,73	2273	9491	1,97	2644	10866	2,25	3048	12314	2,52
20	1976	7997	2,22	2371	11096	3,05	2390	12834	3,52	3306	14670	4,05	3852	15064	4,22
MEPS	3,45 (according to Ecodesign Directive EN 2009/125/EC)								II Liquid receiver 8 liters						
V/Ph/Hz	400/3+N+PE/50														

**MTDX  
Inverter  
modulation**

from 25 to 100%  
(1500 ---> 6000 rpm)

Dimensions/weight

mm 1150x620x805  
kg 150

STANDARD LIQUID  
RECEIVER

PED I  
Liquid receiver 2x2,4  
liters

OPTIONAL LIQUID  
RECEIVER

PED II  
Liquid receiver 8 liters

Refrigeration  
connection

Suction inch 3/8"  
(exc. UMTT 100: 1/2")  
Liquid inch 3/8"

Sound Pressure

☀ Day Operation:  
dB(A) 44  
🌙 Night Operation:  
dB(A) 35

(based on freefield area with  
semi-spherical sound emission  
in 10 m distance)

## Anexo 2.9 - PCM

## RT8HC

RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.



### Properties for RT-line:

- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -9 °C and 100 °C available

### The most important data:

**Melting area**

**Congealing area**

**Heat storage capacity ± 7,5%**

Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of 1 °C to 15°C.

**Specific heat capacity**

**Density solid**  
at 0 °C

**Density liquid**  
at 15°C

**Heat conductivity (both phases)**

**Volume expansion**

**Flash point**

**Max. operation temperature**

### Typical Values

**7-9** [°C]

main peak: 8

**8-7** [°C]

main peak: 8

**190** [kJ/kg]\*

**53** [Wh/kg]\*

**2** [kJ/kg·K]

**0,88** [kg/l]

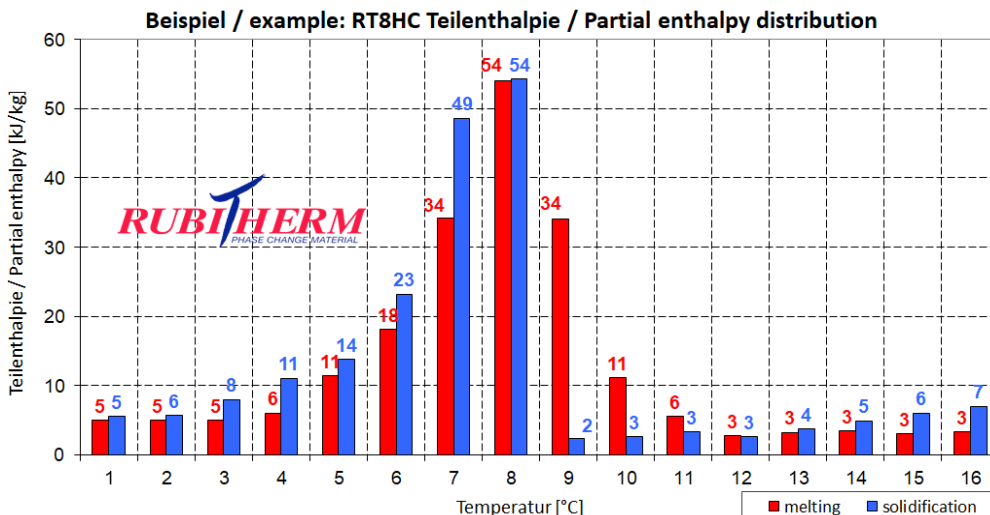
**0,77** [kg/l]

**0,2** [W/(m·K)]

**12,5** [%]

**120** [°C]

**40** [°C]



Rubitherm Technologies GmbH  
 Imhoffweg 6  
 D-12307 Berlin  
 phone: +49 (30) 7109622-0  
 E-Mail: info@rubitherm.com  
 Web: www.rubitherm.com

The product information given is a non-binding planning aid, subject to technical changes without notice.  
 Version: 01.02.2023

\*Measured with 3-layer-calorimeter.

## **Anexo 3 - Radiação solar e velocidade do vento (sistema de informação geográfico fotovoltaico da Comissão Europeia)**

## Anexo 3.1 - Instituto Politécnico de Beja

Latitude (decimal degrees): 38.013  
Longitude (decimal degrees): 27.874  
Elevation (m): 240  
Radiation database: PVGIS-SARAH3

Slope: 34 deg. (optimum)

Azimuth: -1 deg. (optimum)

time,G(i),H\_sun,T2m,WS10m,Int

20230203:0110,0.0,0.0,4.11,2.21,0.0  
20230203:0210,0.0,0.0,3.49,2.14,0.0  
20230203:0310,0.0,0.0,2.97,2.07,0.0  
20230203:0410,0.0,0.0,2.59,2.14,0.0  
20230203:0510,0.0,0.0,2.35,2.21,0.0  
20230203:0610,0.0,0.0,2.06,2.14,0.0  
20230203:0710,0.0,0.0,1.69,2.07,0.0  
20230203:0810,177.62,5.61,1.5,1.86,0.0  
20230203:0910,472.44,15.71,4.3,1.24,0.0  
20230203:1010,691.87,24.41,9.16,1.24,0.0  
20230203:1110,867.64,31.05,12.3,1.17,0.0  
20230203:1210,940.46,34.83,14.79,1.1,0.0  
20230203:1310,960.93,35.15,16.34,1.03,0.0  
20230203:1410,887.99,31.94,17.19,1.17,0.0  
20230203:1510,727.28,25.75,17.56,1.38,0.0  
20230203:1610,499.1,17.35,17.48,1.59,0.0  
20230203:1710,230.7,7.46,16.58,1.45,0.0  
20230203:1810,0.0,0.0,14.63,2.14,0.0  
20230203:1910,0.0,0.0,12.25,2.34,0.0  
20230203:2010,0.0,0.0,10.73,2.41,0.0  
20230203:2110,0.0,0.0,9.58,2.48,0.0  
20230203:2210,0.0,0.0,8.64,2.41,0.0  
20230203:2310,0.0,0.0,7.71,2.34,0.0  
20230204:0010,0.0,0.0,6.71,2.28,0.0  
20230204:0110,0.0,0.0,5.77,2.21,0.0  
20230204:0210,0.0,0.0,5.0,2.21,0.0  
20230204:0310,0.0,0.0,4.4,2.28,0.0  
20230204:0410,0.0,0.0,3.96,2.21,0.0  
20230204:0510,0.0,0.0,3.53,2.21,0.0  
20230204:0610,0.0,0.0,3.12,2.14,0.0  
20230204:0710,0.0,0.0,2.55,2.0,0.0  
20230204:0810,202.08,5.78,2.35,1.86,0.0  
20230204:0910,482.95,15.91,5.04,1.24,0.0  
20230204:1010,710.8,24.64,9.53,1.1,0.0  
20230204:1110,881.81,31.31,12.25,1.1,0.0  
20230204:1210,949.37,35.12,14.53,1.1,0.0  
20230204:1310,962.44,35.45,16.25,1.31,0.0  
20230204:1410,889.8,32.23,17.42,1.72,0.0  
20230204:1510,722.64,26.02,18.04,2.07,0.0

20230204:1610,502.3,17.6,18.08,2.14,0.0  
20230204:1710,240.13,7.68,17.04,1.72,0.0  
20230204:1810,0.0,0.0,14.81,2.34,0.0  
20230204:1910,0.0,0.0,12.92,2.34,0.0  
20230204:2010,0.0,0.0,11.33,2.34,0.0  
20230204:2110,0.0,0.0,9.87,2.34,0.0  
20230204:2210,0.0,0.0,8.44,2.21,0.0  
20230204:2310,0.0,0.0,7.08,2.14,0.0  
20230205:0010,0.0,0.0,5.88,2.07,0.0  
20230205:0110,0.0,0.0,4.92,2.0,0.0  
20230205:0210,0.0,0.0,4.24,2.0,0.0  
20230205:0310,0.0,0.0,3.77,2.07,0.0  
20230205:0410,0.0,0.0,3.4,2.07,0.0  
20230205:0510,0.0,0.0,3.1,2.07,0.0  
20230205:0610,0.0,0.0,2.76,2.07,0.0  
20230205:0710,0.0,0.0,2.38,1.93,0.0  
20230205:0810,205.2,5.97,2.02,2.0,0.0  
20230205:0910,480.6,16.12,5.02,1.45,0.0  
20230205:1010,698.47,24.88,10.16,1.31,0.0  
20230205:1110,873.34,31.58,13.37,1.24,0.0  
20230205:1210,947.36,35.41,15.93,1.31,0.0  
20230205:1310,961.81,35.75,17.55,1.31,0.0  
20230205:1410,896.76,32.52,18.46,1.17,0.0  
20230205:1510,735.29,26.29,18.9,1.24,0.0  
20230205:1610,516.05,17.85,18.84,1.24,0.0  
20230205:1710,251.98,7.91,18.09,0.83,0.0  
20230205:1810,0.0,0.0,16.49,0.83,0.0  
20230205:1910,0.0,0.0,12.69,1.66,0.0  
20230205:2010,0.0,0.0,10.86,1.59,0.0  
20230205:2110,0.0,0.0,9.6,1.59,0.0  
20230205:2210,0.0,0.0,8.53,1.52,0.0  
20230205:2310,0.0,0.0,7.42,1.52,0.0  
20230206:0010,0.0,0.0,6.63,1.52,0.0  
20230206:0110,0.0,0.0,6.22,1.38,0.0  
20230206:0210,0.0,0.0,5.77,1.31,0.0  
20230206:0310,0.0,0.0,4.88,1.45,0.0  
20230206:0410,0.0,0.0,4.19,1.52,0.0  
20230206:0510,0.0,0.0,3.79,1.52,0.0  
20230206:0610,0.0,0.0,3.68,1.45,0.0  
20230206:0710,0.0,0.0,4.51,1.17,0.0  
20230206:0810,204.45,6.16,5.38,0.69,0.0  
20230206:0910,471.64,16.33,6.58,0.14,0.0  
20230206:1010,693.34,25.13,10.06,0.28,0.0  
20230206:1110,860.59,31.86,13.22,0.41,0.0  
20230206:1210,957.69,35.71,15.51,0.9,0.0  
20230206:1310,963.39,36.06,17.04,1.59,0.0  
20230206:1410,891.11,32.82,17.76,2.07,0.0  
20230206:1510,563.62,26.56,17.89,2.34,0.0

20230206:1610,513.46,18.1,17.53,2.28,0.0  
20230206:1710,246.07,8.14,16.44,1.79,0.0  
20230206:1810,0.0,0.0,14.19,2.28,0.0  
20230206:1910,0.0,0.0,12.37,2.28,0.0  
20230206:2010,0.0,0.0,10.72,2.21,0.0  
20230206:2110,0.0,0.0,9.26,2.0,0.0  
20230206:2210,0.0,0.0,7.68,1.72,0.0  
20230206:2310,0.0,0.0,6.76,1.45,0.0  
20230207:0010,0.0,0.0,7.69,0.97,0.0  
20230207:0110,0.0,0.0,7.3,0.9,0.0  
20230207:0210,0.0,0.0,5.94,1.1,0.0  
20230207:0310,0.0,0.0,3.91,1.52,0.0  
20230207:0410,0.0,0.0,3.01,1.72,0.0  
20230207:0510,0.0,0.0,2.95,1.72,0.0  
20230207:0610,0.0,0.0,3.19,1.79,0.0  
20230207:0710,0.0,0.0,3.9,1.93,0.0  
20230207:0810,127.99,6.35,4.29,2.14,0.0  
20230207:0910,106.92,16.55,6.34,1.93,0.0  
20230207:1010,383.94,25.37,8.63,2.21,0.0  
20230207:1110,596.19,32.14,10.65,2.55,0.0  
20230207:1210,166.78,36.02,12.07,2.83,0.0  
20230207:1310,128.58,36.37,12.83,2.69,0.0  
20230207:1410,81.06,33.12,13.07,2.69,0.0  
20230207:1510,69.88,26.84,12.56,2.62,0.0  
20230207:1610,116.61,18.35,12.0,2.07,0.0  
20230207:1710,43.87,8.37,11.45,1.86,0.0  
20230207:1810,0.0,0.0,10.13,1.93,0.0  
20230207:1910,0.0,0.0,9.17,2.21,0.0  
20230207:2010,0.0,0.0,8.53,2.07,0.0  
20230207:2110,0.0,0.0,8.2,2.07,0.0  
20230207:2210,0.0,0.0,8.01,2.28,0.0  
20230207:2310,0.0,0.0,7.94,2.55,0.0  
20230208:0010,0.0,0.0,8.23,2.69,0.0  
20230208:0110,0.0,0.0,8.45,2.83,0.0  
20230208:0210,0.0,0.0,8.61,2.83,0.0  
20230208:0310,0.0,0.0,8.81,2.9,0.0  
20230208:0410,0.0,0.0,8.87,3.24,0.0  
20230208:0510,0.0,0.0,9.03,3.38,0.0  
20230208:0610,0.0,0.0,9.0,3.17,0.0  
20230208:0710,0.0,0.0,6.8,2.55,0.0  
20230208:0810,166.03,6.55,6.94,2.62,0.0  
20230208:0910,365.98,16.77,8.14,2.48,0.0  
20230208:1010,466.34,25.63,9.04,3.03,0.0  
20230208:1110,159.32,32.42,10.18,3.59,0.0  
20230208:1210,609.83,36.33,11.26,4.62,0.0  
20230208:1310,58.7,36.68,11.31,4.14,0.0  
20230208:1410,136.03,33.42,10.97,3.59,0.0  
20230208:1510,41.0,27.12,10.8,3.45,0.0

20230208:1610,58.7,18.6,11.19,3.59,0.0  
20230208:1710,56.08,8.59,11.12,3.79,0.0  
20230208:1810,0.0,0.0,10.5,3.72,0.0  
20230208:1910,0.0,0.0,10.08,3.17,0.0  
20230208:2010,0.0,0.0,9.65,3.17,0.0  
20230208:2110,0.0,0.0,9.64,3.17,0.0  
20230208:2210,0.0,0.0,9.69,3.24,0.0  
20230208:2310,0.0,0.0,9.74,3.24,0.0  
20230209:0010,0.0,0.0,9.56,3.24,0.0  
20230209:0110,0.0,0.0,9.56,3.24,0.0  
20230209:0210,0.0,0.0,9.56,3.1,0.0  
20230209:0310,0.0,0.0,9.72,2.97,0.0  
20230209:0410,0.0,0.0,9.75,2.83,0.0  
20230209:0510,0.0,0.0,9.61,2.69,0.0  
20230209:0610,0.0,0.0,9.48,2.69,0.0  
20230209:0710,0.0,0.0,8.44,2.69,0.0  
20230209:0810,198.6,6.75,8.38,2.48,0.0  
20230209:0910,473.71,17.0,9.65,2.07,0.0  
20230209:1010,669.16,25.89,11.53,2.62,0.0  
20230209:1110,867.1,32.71,13.23,3.03,0.0  
20230209:1210,920.5,36.64,14.84,3.24,0.0  
20230209:1310,611.9,37.0,16.16,3.52,0.0  
20230209:1410,328.63,33.73,16.88,3.45,0.0  
20230209:1510,527.9,27.4,16.89,3.03,0.0  
20230209:1610,378.87,18.85,16.84,2.97,0.0  
20230209:1710,244.95,8.82,16.19,2.07,0.0  
20230209:1810,0.0,0.0,14.68,1.93,0.0  
20230209:1910,0.0,0.0,13.72,2.0,0.0  
20230209:2010,0.0,0.0,12.58,2.14,0.0  
20230209:2110,0.0,0.0,11.63,2.21,0.0  
20230209:2210,0.0,0.0,10.89,2.21,0.0  
20230209:2310,0.0,0.0,10.21,2.21,0.0  
20230210:0010,0.0,0.0,9.33,2.21,0.0

20230526:0110,0.0,0.0,18.07,2.41,0.0  
20230526:0210,0.0,0.0,17.34,2.34,0.0  
20230526:0310,0.0,0.0,16.79,2.21,0.0  
20230526:0410,0.0,0.0,16.23,2.07,0.0  
20230526:0510,0.0,0.0,15.76,1.93,0.0  
20230526:0610,52.91,9.38,15.63,1.66,0.0  
20230526:0710,150.79,20.76,16.88,2.28,0.0  
20230526:0810,181.29,32.49,18.29,2.14,0.0  
20230526:0910,524.56,44.28,19.93,2.0,0.0  
20230526:1010,624.42,55.78,21.68,2.21,0.0  
20230526:1110,753.31,66.1,23.6,2.69,0.0  
20230526:1210,406.76,72.65,25.11,3.24,0.0  
20230526:1310,228.27,70.88,25.93,3.72,0.0  
20230526:1410,84.79,62.36,23.41,4.21,0.0

20230526:1510,104.35,51.42,21.91,3.66,0.0  
20230526:1610,343.66,39.74,22.94,2.76,0.0  
20230526:1710,311.78,27.94,23.28,2.76,0.0  
20230526:1810,119.86,16.32,22.61,2.48,0.0  
20230526:1910,24.69,5.13,21.1,2.0,0.0  
20230526:2010,0.0,0.0,19.88,1.17,0.0  
20230526:2110,0.0,0.0,19.15,0.55,0.0  
20230526:2210,0.0,0.0,18.62,0.21,0.0  
20230526:2310,0.0,0.0,17.88,0.14,0.0  
20230527:0010,0.0,0.0,17.03,0.48,0.0  
20230527:0110,0.0,0.0,15.68,0.9,0.0  
20230527:0210,0.0,0.0,14.68,1.17,0.0  
20230527:0310,0.0,0.0,14.35,1.1,0.0  
20230527:0410,0.0,0.0,14.59,0.83,0.0  
20230527:0510,0.0,0.0,14.65,0.76,0.0  
20230527:0610,54.67,9.46,14.93,0.48,0.0  
20230527:0710,193.85,20.84,15.89,0.07,0.0  
20230527:0810,429.87,32.56,17.27,0.48,0.0  
20230527:0910,567.89,44.35,18.46,1.1,0.0  
20230527:1010,339.92,55.86,19.4,0.9,0.0  
20230527:1110,479.01,66.21,20.48,1.1,0.0  
20230527:1210,684.32,72.81,21.47,1.03,0.0  
20230527:1310,137.89,71.04,22.77,0.76,0.0  
20230527:1410,101.56,62.49,23.71,1.1,0.0  
20230527:1510,73.61,51.53,24.26,1.59,0.0  
20230527:1610,294.31,39.86,23.97,1.93,0.0  
20230527:1710,222.32,28.06,23.79,2.9,0.0  
20230527:1810,101.87,16.44,22.51,3.59,0.0  
20230527:1910,12.35,5.26,19.84,0.69,0.0  
20230527:2010,0.0,0.0,19.43,0.9,0.0  
20230527:2110,0.0,0.0,18.78,1.72,0.0  
20230527:2210,0.0,0.0,18.01,2.21,0.0  
20230527:2310,0.0,0.0,17.18,2.28,0.0  
20230528:0010,0.0,0.0,16.61,2.21,0.0  
20230528:0110,0.0,0.0,15.98,2.14,0.0  
20230528:0210,0.0,0.0,15.66,2.07,0.0  
20230528:0310,0.0,0.0,15.34,2.0,0.0  
20230528:0410,0.0,0.0,14.96,1.93,0.0  
20230528:0510,0.0,0.0,14.7,1.86,0.0  
20230528:0610,54.67,9.54,14.74,1.72,0.0  
20230528:0710,188.73,20.91,16.01,2.0,0.0  
20230528:0810,335.77,32.62,17.36,2.14,0.0  
20230528:0910,530.62,44.42,19.35,2.48,0.0  
20230528:1010,832.73,55.94,20.57,2.62,0.0  
20230528:1110,888.87,66.32,22.14,2.76,0.0  
20230528:1210,866.07,72.97,22.95,2.83,0.0  
20230528:1310,953.28,71.2,23.74,3.03,0.0  
20230528:1410,878.0,62.63,23.59,3.45,0.0

20230528:1510,748.85,51.65,23.36,3.86,0.0  
20230528:1610,512.36,39.97,23.38,4.34,0.0  
20230528:1710,258.18,28.17,22.74,4.69,0.0  
20230528:1810,117.49,16.55,21.78,4.62,0.0  
20230528:1910,26.46,5.38,20.41,4.07,0.0  
20230528:2010,0.0,0.0,19.31,3.31,0.0  
20230528:2110,0.0,0.0,18.28,2.9,0.0  
20230528:2210,0.0,0.0,17.42,2.55,0.0  
20230528:2310,0.0,0.0,16.74,2.28,0.0  
20230529:0010,0.0,0.0,16.02,2.0,0.0  
20230529:0110,0.0,0.0,15.31,1.86,0.0  
20230529:0210,0.0,0.0,14.65,1.79,0.0  
20230529:0310,0.0,0.0,13.99,1.66,0.0  
20230529:0410,0.0,0.0,13.21,1.52,0.0  
20230529:0510,0.0,0.0,12.41,1.45,0.0  
20230529:0610,54.67,9.61,12.6,1.1,0.0  
20230529:0710,200.91,20.97,15.2,1.72,0.0  
20230529:0810,399.03,32.68,17.18,2.55,0.0  
20230529:0910,578.87,44.48,18.9,2.76,0.0  
20230529:1010,807.23,56.01,20.59,2.83,0.0  
20230529:1110,823.77,66.42,21.88,2.9,0.0  
20230529:1210,919.17,73.11,23.21,3.03,0.0  
20230529:1310,469.26,71.36,23.75,3.24,0.0  
20230529:1410,324.9,62.75,24.12,3.45,0.0  
20230529:1510,385.8,51.76,23.7,3.66,0.0  
20230529:1610,155.6,40.08,23.23,3.72,0.0  
20230529:1710,332.41,28.28,22.81,3.86,0.0  
20230529:1810,122.4,16.67,21.96,3.93,0.0  
20230529:1910,29.1,5.5,20.69,3.66,0.0  
20230529:2010,0.0,0.0,19.75,3.24,0.0  
20230529:2110,0.0,0.0,18.74,2.83,0.0  
20230529:2210,0.0,0.0,17.83,2.34,0.0  
20230529:2310,0.0,0.0,16.94,1.93,0.0  
20230530:0010,0.0,0.0,16.03,1.72,0.0  
20230530:0110,0.0,0.0,15.03,1.59,0.0  
20230530:0210,0.0,0.0,13.95,1.52,0.0  
20230530:0310,0.0,0.0,12.99,1.38,0.0  
20230530:0410,0.0,0.0,12.48,1.38,0.0  
20230530:0510,0.0,0.0,12.05,1.31,0.0  
20230530:0610,55.56,9.68,12.35,0.97,0.0  
20230530:0710,160.46,21.03,15.25,1.93,0.0  
20230530:0810,333.96,32.74,17.12,2.41,0.0  
20230530:0910,603.56,44.54,19.23,2.9,0.0  
20230530:1010,733.76,56.07,20.85,3.1,0.0  
20230530:1110,852.72,66.51,22.02,3.17,0.0  
20230530:1210,949.56,73.25,22.57,3.31,0.0  
20230530:1310,961.75,71.5,23.33,3.31,0.0  
20230530:1410,857.23,62.88,24.0,3.45,0.0

20230530:1510,768.17,51.87,24.19,3.59,0.0  
20230530:1610,553.62,40.18,24.0,3.66,0.0  
20230530:1710,336.29,28.38,23.86,3.72,0.0  
20230530:1810,114.11,16.78,23.08,3.93,0.0  
20230530:1910,28.22,5.62,22.12,3.66,0.0  
20230530:2010,0.0,0.0,20.41,3.59,0.0  
20230530:2110,0.0,0.0,18.94,3.24,0.0  
20230530:2210,0.0,0.0,17.83,2.69,0.0  
20230530:2310,0.0,0.0,16.95,2.21,0.0  
20230531:0010,0.0,0.0,16.17,1.86,0.0  
20230531:0110,0.0,0.0,15.41,1.72,0.0  
20230531:0210,0.0,0.0,14.58,1.59,0.0  
20230531:0310,0.0,0.0,13.64,1.52,0.0  
20230531:0410,0.0,0.0,12.9,1.38,0.0  
20230531:0510,0.0,0.0,12.5,1.24,0.0  
20230531:0610,46.74,9.74,12.95,0.9,0.0  
20230531:0710,205.34,21.09,15.83,0.69,0.0  
20230531:0810,442.71,32.79,18.2,1.03,0.0  
20230531:0910,671.83,44.59,20.19,1.1,0.0  
20230531:1010,862.79,56.13,21.93,0.76,0.0  
20230531:1110,992.09,66.6,23.49,0.69,0.0  
20230531:1210,987.89,73.39,24.8,0.83,0.0  
20230531:1310,901.92,71.65,25.83,1.1,0.0  
20230531:1410,896.23,63.0,26.54,1.52,0.0  
20230531:1510,757.17,51.98,26.99,1.86,0.0  
20230531:1610,546.05,40.29,26.83,2.21,0.0  
20230531:1710,332.41,28.49,25.83,2.97,0.0  
20230531:1810,106.51,16.89,24.74,3.79,0.0  
20230531:1910,29.1,5.73,23.54,3.59,0.0  
20230531:2010,0.0,0.0,21.71,3.72,0.0  
20230531:2110,0.0,0.0,20.32,3.31,0.0  
20230531:2210,0.0,0.0,19.36,2.9,0.0  
20230531:2310,0.0,0.0,18.67,2.62,0.0  
20230601:0010,0.0,0.0,18.0,2.28,0.0  
20230601:0110,0.0,0.0,17.41,2.07,0.0  
20230601:0210,0.0,0.0,16.84,1.93,0.0  
20230601:0310,0.0,0.0,16.32,1.79,0.0  
20230601:0410,0.0,0.0,15.84,1.79,0.0  
20230601:0510,0.0,0.0,15.46,1.66,0.0  
20230601:0610,39.68,9.8,15.37,1.45,0.0  
20230601:0710,180.57,21.13,17.51,1.52,0.0  
20230601:0810,221.73,32.83,18.9,1.38,0.0  
20230601:0910,177.96,44.63,20.42,1.59,0.0  
20230601:1010,374.6,56.19,22.55,1.45,0.0  
20230601:1110,966.34,66.68,24.18,0.69,0.0  
20230601:1210,993.22,73.52,25.55,0.14,0.0  
20230601:1310,712.42,71.79,26.82,0.9,0.0  
20230601:1410,834.18,63.12,27.58,1.45,0.0

20230601:1510,696.01,52.09,27.7,1.59,0.0  
20230601:1610,105.28,40.39,26.62,1.86,0.0  
20230601:1710,49.38,28.59,24.44,3.03,0.0  
20230601:1810,126.1,17.0,22.92,2.9,0.0  
20230601:1910,29.98,5.85,23.25,2.07,0.0  
20230601:2010,0.0,0.0,22.16,1.66,0.0  
20230601:2110,0.0,0.0,21.02,1.1,0.0  
20230601:2210,0.0,0.0,20.27,0.55,0.0  
20230601:2310,0.0,0.0,20.09,0.34,0.0  
20230602:0010,0.0,0.0,19.45,0.34,0.0

G(i): Global irradiance on the inclined plane (plane of the array) (W/m<sup>2</sup>)

H\_sun: Sun height (degree)

T2m: 2-m air temperature (degree Celsius)

WS10m: 10-m total wind speed (m/s)

Int: 1 means solar radiation values are reconstructed

PVGIS (c) European Union, 2001-2025

## Anexo 3.2 - Serra da Estrela

Latitude (decimal degrees): 40.493  
Longitude (decimal degrees): 7.642  
Elevation (m): 90  
Radiation database: PVGIS-SARAH3

Slope: 35 deg. (optimum)

Azimuth: -2 deg. (optimum)

time,G(i),H\_sun,T2m,WS10m,Int

20230526:0110,0.0,0.0,10.32,3.03,0.0  
20230526:0210,0.0,0.0,9.67,2.76,0.0  
20230526:0310,0.0,0.0,9.01,2.69,0.0  
20230526:0410,0.0,0.0,8.4,2.55,0.0  
20230526:0510,0.0,0.0,7.69,2.48,0.0  
20230526:0610,51.51,10.4,7.57,2.14,0.0  
20230526:0710,188.42,21.43,8.56,2.34,0.0  
20230526:0810,404.26,32.78,10.54,2.9,0.0  
20230526:0910,600.58,44.14,13.51,4.0,0.0  
20230526:1010,714.19,55.07,15.22,5.03,0.0  
20230526:1110,784.7,64.61,16.78,5.72,0.0  
20230526:1210,884.76,70.29,17.47,5.86,0.0  
20230526:1310,977.49,68.61,18.38,5.93,0.0  
20230526:1410,149.12,60.85,17.42,4.83,0.0  
20230526:1510,312.51,50.54,18.76,4.83,0.0  
20230526:1610,50.94,39.35,16.1,4.48,0.0  
20230526:1710,40.75,27.96,14.5,2.83,0.0  
20230526:1810,42.61,16.71,14.13,2.0,0.0  
20230526:1910,22.7,5.89,13.06,2.0,0.0  
20230526:2010,0.0,0.0,12.6,1.72,0.0  
20230526:2110,0.0,0.0,12.27,1.72,0.0  
20230526:2210,0.0,0.0,11.8,1.93,0.0  
20230526:2310,0.0,0.0,11.72,1.79,0.0  
20230527:0010,0.0,0.0,11.69,1.72,0.0  
20230527:0110,0.0,0.0,11.56,1.72,0.0  
20230527:0210,0.0,0.0,11.37,1.66,0.0  
20230527:0310,0.0,0.0,11.42,1.52,0.0  
20230527:0410,0.0,0.0,10.77,1.72,0.0  
20230527:0510,0.0,0.0,10.26,1.72,0.0  
20230527:0610,57.62,10.49,10.8,1.45,0.0  
20230527:0710,132.75,21.52,12.15,1.45,0.0  
20230527:0810,290.08,32.86,13.63,2.14,0.0  
20230527:0910,207.54,44.22,15.01,2.28,0.0  
20230527:1010,213.95,55.17,15.43,2.21,0.0  
20230527:1110,173.2,64.74,15.92,2.07,0.0  
20230527:1210,149.12,70.45,16.74,2.0,0.0  
20230527:1310,262.12,68.78,17.48,1.66,0.0  
20230527:1410,356.09,61.0,17.41,1.03,0.0  
20230527:1510,379.39,50.66,18.12,1.17,0.0

20230527:1610,303.14,39.47,17.12,0.62,0.0  
20230527:1710,103.74,28.08,14.52,1.72,0.0  
20230527:1810,90.48,16.83,13.33,0.83,0.0  
20230527:1910,4.37,6.02,12.78,0.9,0.0  
20230527:2010,0.0,0.0,12.35,0.83,0.0  
20230527:2110,0.0,0.0,12.0,0.9,0.0  
20230527:2210,0.0,0.0,11.73,0.97,0.0  
20230527:2310,0.0,0.0,11.5,1.1,0.0  
20230528:0010,0.0,0.0,11.26,0.9,0.0  
20230528:0110,0.0,0.0,11.07,0.83,0.0  
20230528:0210,0.0,0.0,10.99,1.24,0.0  
20230528:0310,0.0,0.0,11.0,1.17,0.0  
20230528:0410,0.0,0.0,10.98,1.17,0.0  
20230528:0510,0.0,0.0,10.67,1.31,0.0  
20230528:0610,44.52,10.57,10.64,1.31,0.0  
20230528:0710,49.09,21.59,10.8,1.59,0.0  
20230528:0810,86.14,32.93,11.08,1.52,0.0  
20230528:0910,92.62,44.29,11.42,1.66,0.0  
20230528:1010,82.43,55.25,12.25,2.14,0.0  
20230528:1110,113.0,64.85,12.75,2.41,0.0  
20230528:1210,128.74,70.61,13.07,2.55,0.0  
20230528:1310,206.54,68.94,13.25,2.69,0.0  
20230528:1410,126.89,61.13,13.1,3.03,0.0  
20230528:1510,81.51,50.79,13.31,3.17,0.0  
20230528:1610,50.94,39.59,12.75,3.03,0.0  
20230528:1710,35.2,28.19,12.44,2.9,0.0  
20230528:1810,25.01,16.96,12.06,2.62,0.0  
20230528:1910,7.86,6.15,10.9,2.28,0.0  
20230528:2010,0.0,0.0,10.51,1.93,0.0  
20230528:2110,0.0,0.0,10.36,1.79,0.0  
20230528:2210,0.0,0.0,10.23,1.52,0.0  
20230528:2310,0.0,0.0,9.98,1.59,0.0  
20230529:0010,0.0,0.0,9.76,1.31,0.0  
20230529:0110,0.0,0.0,10.14,1.24,0.0  
20230529:0210,0.0,0.0,10.03,1.24,0.0  
20230529:0310,0.0,0.0,9.94,1.24,0.0  
20230529:0410,0.0,0.0,9.94,1.31,0.0  
20230529:0510,0.0,0.0,9.97,1.17,0.0  
20230529:0610,23.57,10.65,10.09,1.24,0.0  
20230529:0710,90.77,21.66,10.7,1.17,0.0  
20230529:0810,100.03,33.0,11.33,1.1,0.0  
20230529:0910,119.48,44.36,11.96,1.24,0.0  
20230529:1010,97.25,55.34,11.98,1.31,0.0  
20230529:1110,125.04,64.96,12.9,1.52,0.0  
20230529:1210,134.3,70.76,13.46,1.86,0.0  
20230529:1310,192.65,69.1,14.37,2.21,0.0  
20230529:1410,143.56,61.27,13.55,2.34,0.0  
20230529:1510,97.25,50.91,12.83,2.28,0.0

20230529:1610,71.32,39.7,12.74,2.07,0.0  
20230529:1710,67.61,28.31,12.33,1.93,0.0  
20230529:1810,122.54,17.07,11.73,2.07,0.0  
20230529:1910,29.68,6.28,11.44,1.72,0.0  
20230529:2010,0.0,0.0,11.22,1.31,0.0  
20230529:2110,0.0,0.0,11.16,1.24,0.0  
20230529:2210,0.0,0.0,11.14,1.24,0.0  
20230529:2310,0.0,0.0,10.97,1.1,0.0  
20230530:0010,0.0,0.0,10.94,1.03,0.0  
20230530:0110,0.0,0.0,10.69,0.97,0.0  
20230530:0210,0.0,0.0,10.58,0.97,0.0  
20230530:0310,0.0,0.0,10.55,0.83,0.0  
20230530:0410,0.0,0.0,10.57,0.76,0.0  
20230530:0510,0.0,0.0,10.54,0.76,0.0  
20230530:0610,46.27,10.72,10.59,0.83,0.0  
20230530:0710,120.25,21.73,11.15,0.83,0.0  
20230530:0810,150.97,33.06,12.14,0.69,0.0  
20230530:0910,306.42,44.43,12.87,0.83,0.0  
20230530:1010,216.73,55.41,13.66,1.03,0.0  
20230530:1110,176.91,65.07,14.32,1.66,0.0  
20230530:1210,418.23,70.9,15.13,1.86,0.0  
20230530:1310,105.59,69.25,14.96,2.07,0.0  
20230530:1410,327.15,61.4,14.77,2.14,0.0  
20230530:1510,113.92,51.03,14.32,2.21,0.0  
20230530:1610,80.58,39.81,13.38,2.28,0.0  
20230530:1710,135.92,28.42,12.48,2.07,0.0  
20230530:1810,38.9,17.19,12.12,2.0,0.0  
20230530:1910,29.68,6.4,12.18,1.86,0.0  
20230530:2010,0.0,0.0,11.53,1.31,0.0  
20230530:2110,0.0,0.0,11.07,1.24,0.0  
20230530:2210,0.0,0.0,10.65,1.24,0.0  
20230530:2310,0.0,0.0,10.36,1.1,0.0  
20230531:0010,0.0,0.0,10.13,1.1,0.0  
20230531:0110,0.0,0.0,9.74,0.97,0.0  
20230531:0210,0.0,0.0,9.78,1.1,0.0  
20230531:0310,0.0,0.0,9.67,0.97,0.0  
20230531:0410,0.0,0.0,9.68,0.97,0.0  
20230531:0510,0.0,0.0,9.6,0.83,0.0  
20230531:0610,42.78,10.79,9.65,0.97,0.0  
20230531:0710,67.61,21.79,10.05,0.97,0.0  
20230531:0810,235.51,33.11,11.0,0.9,0.0  
20230531:0910,275.86,44.49,12.56,0.83,0.0  
20230531:1010,408.96,55.48,13.85,0.48,0.0  
20230531:1110,364.73,65.16,14.75,0.14,0.0  
20230531:1210,555.45,71.04,15.75,0.62,0.0  
20230531:1310,132.45,69.39,16.52,1.17,0.0  
20230531:1410,212.1,61.53,16.35,1.59,0.0  
20230531:1510,319.07,51.14,15.21,1.86,0.0

20230531:1610,520.77,39.92,13.89,2.69,0.0  
20230531:1710,224.13,28.53,13.32,2.28,0.0  
20230531:1810,36.12,17.3,13.35,2.28,0.0  
20230531:1910,29.68,6.52,13.75,1.66,0.0  
20230531:2010,0.0,0.0,12.86,1.1,0.0  
20230531:2110,0.0,0.0,12.14,1.03,0.0  
20230531:2210,0.0,0.0,11.17,0.9,0.0  
20230531:2310,0.0,0.0,10.84,0.62,0.0  
20230601:0010,0.0,0.0,10.7,0.48,0.0  
20230601:0110,0.0,0.0,10.13,0.41,0.0  
20230601:0210,0.0,0.0,9.2,0.34,0.0  
20230601:0310,0.0,0.0,8.91,0.34,0.0  
20230601:0410,0.0,0.0,8.52,0.48,0.0  
20230601:0510,0.0,0.0,8.36,0.69,0.0  
20230601:0610,52.38,10.85,8.8,0.9,0.0  
20230601:0710,214.47,21.84,10.43,1.17,0.0  
20230601:0810,388.98,33.17,12.48,1.24,0.0  
20230601:0910,528.4,44.54,14.32,1.17,0.0  
20230601:1010,305.76,55.55,16.02,0.76,0.0  
20230601:1110,682.77,65.25,16.71,0.83,0.0  
20230601:1210,598.1,71.17,17.18,1.1,0.0  
20230601:1310,208.4,69.54,17.59,1.52,0.0  
20230601:1410,157.46,61.65,16.93,1.93,0.0  
20230601:1510,143.56,51.25,16.33,2.41,0.0  
20230601:1610,201.84,40.03,15.42,1.86,0.0  
20230601:1710,184.42,28.64,15.49,1.79,0.0  
20230601:1810,37.97,17.42,15.44,1.86,0.0  
20230601:1910,30.56,6.64,14.99,1.31,0.0  
20230601:2010,0.0,0.0,14.09,0.48,0.0  
20230601:2110,0.0,0.0,13.14,0.41,0.0  
20230601:2210,0.0,0.0,12.57,0.34,0.0  
20230601:2310,0.0,0.0,11.28,0.9,0.0  
20230602:0010,0.0,0.0,10.49,1.1,0.0

G(i): Global irradiance on the inclined plane (plane of the array) (W/m<sup>2</sup>)

H\_sun: Sun height (degree)

T2m: 2-m air temperature (degree Celsius)

WS10m: 10-m total wind speed (m/s)

Int: 1 means solar radiation values are reconstructed

## **Anexo 4 – Perfis de consumo do protótipo**

## Anexo 4.1 - Semana de 26 de maio a 1 de junho de 2025

	Hora	Consumo Elétrico - Cura (Wh)	Consumo Térmico - Pasteurização (Wh)	Consumo Térmico - Coagulação (Wh)
Segunda-Feira	1	300,0	0,0	0,0
	2	400,0	0,0	0,0
	3	400,0	0,0	0,0
	4	500,0	0,0	0,0
	5	340,0	0,0	0,0
	6	340,0	0,0	0,0
	7	240,0	0,0	0,0
	8	400,0	0,0	0,0
	9	400,0	8736,0	0,0
	10	600,0	0,0	0,0
	11	400,0	0,0	4704,0
	12	500,0	0,0	0,0
	13	500,0	0,0	0,0
	14	600,0	0,0	0,0
	15	900,0	0,0	0,0
	16	1000,0	0,0	0,0
	17	900,0	0,0	0,0
	18	1000,0	0,0	0,0
	19	1000,0	0,0	0,0
	20	800,0	0,0	0,0
	21	500,0	0,0	0,0
	22	400,0	0,0	0,0
	23	500,0	0,0	0,0
	24	400,0	0,0	0,0
Terça-Feira	25	400,0	0,0	0,0
	26	400,0	0,0	0,0
	27	400,0	0,0	0,0
	28	300,0	0,0	0,0
	29	300,0	0,0	0,0
	30	400,0	0,0	0,0
	31	300,0	0,0	0,0
	32	300,0	0,0	0,0
	33	300,0	8736,0	0,0
	34	400,0	0,0	0,0
	35	500,0	0,0	4704,0
	36	500,0	0,0	0,0
	37	600,0	0,0	0,0
	38	600,0	0,0	0,0
	39	1000,0	0,0	0,0
	40	1000,0	0,0	0,0
	41	1000,0	0,0	0,0
	42	1100,0	0,0	0,0
	43	1000,0	0,0	0,0
	44	900,0	0,0	0,0
	45	800,0	0,0	0,0
	46	500,0	0,0	0,0
	47	500,0	0,0	0,0
	48	500,0	0,0	0,0
Quarta-Feira	49	400,0	0,0	0,0
	50	400,0	0,0	0,0
	51	500,0	0,0	0,0
	52	300,0	0,0	0,0
	53	380,0	0,0	0,0
	54	430,0	0,0	0,0
	55	450,0	0,0	0,0
	56	400,0	0,0	0,0
	57	400,0	8736,0	0,0
	58	700,0	0,0	0,0
	59	700,0	0,0	4704,0
	60	900,0	0,0	0,0
	61	1100,0	0,0	0,0
	62	1100,0	0,0	0,0
	63	1200,0	0,0	0,0
	64	1400,0	0,0	0,0

	Hora	Consumo Elétrico - Cura (Wh)	Consumo Térmico - Pasteurização (Wh)	Consumo Térmico - Coagulação (Wh)
	65	1200,0	0,0	0,0
	66	1300,0	0,0	0,0
	67	1200,0	0,0	0,0
	68	1000,0	0,0	0,0
	69	900,0	0,0	0,0
	70	600,0	0,0	0,0
	71	500,0	0,0	0,0
	72	500,0	0,0	0,0
Quinta-Feira	73	500,0	0,0	0,0
	74	400,0	0,0	0,0
	75	510,0	0,0	0,0
	76	470,0	0,0	0,0
	77	470,0	0,0	0,0
	78	470,0	0,0	0,0
	79	570,0	0,0	0,0
	80	400,0	0,0	0,0
	81	400,0	8736,0	0,0
	82	600,0	0,0	0,0
	83	1000,0	0,0	4704,0
	84	1000,0	0,0	0,0
	85	900,0	0,0	0,0
	86	1200,0	0,0	0,0
	87	1300,0	0,0	0,0
	88	1200,0	0,0	0,0
	89	1400,0	0,0	0,0
	90	1200,0	0,0	0,0
	91	1200,0	0,0	0,0
	92	1000,0	0,0	0,0
93	900,0	0,0	0,0	
94	900,0	0,0	0,0	
95	800,0	0,0	0,0	
96	500,0	0,0	0,0	
Sexta-Feira	97	400,0	0,0	0,0
	98	600,0	0,0	0,0
	99	500,0	0,0	0,0
	100	550,0	0,0	0,0
	101	500,0	0,0	0,0
	102	500,0	0,0	0,0
	103	510,0	0,0	0,0
	104	500,0	0,0	0,0
	105	500,0	8736,0	0,0
	106	500,0	0,0	0,0
	107	1100,0	0,0	4704,0
	108	1300,0	0,0	0,0
	109	1100,0	0,0	0,0
	110	1200,0	0,0	0,0
	111	1300,0	0,0	0,0
	112	1100,0	0,0	0,0
	113	1200,0	0,0	0,0
	114	900,0	0,0	0,0
	115	1000,0	0,0	0,0
	116	1000,0	0,0	0,0
117	900,0	0,0	0,0	
118	800,0	0,0	0,0	
119	900,0	0,0	0,0	
120	700,0	0,0	0,0	
	121	600,0	0,0	0,0
	122	490,0	0,0	0,0
	123	460,0	0,0	0,0
	124	510,0	0,0	0,0
	125	520,0	0,0	0,0
	126	480,0	0,0	0,0
	127	440,0	0,0	0,0

	Hora	Consumo Elétrico - Cura (Wh)	Consumo Térmico - Pasteurização (Wh)	Consumo Térmico - Coagulação (Wh)
Sábado	128	400,0	0,0	0,0
	129	600,0	0,0	0,0
	130	500,0	0,0	0,0
	131	600,0	0,0	0,0
	132	900,0	0,0	0,0
	133	900,0	0,0	0,0
	134	1100,0	0,0	0,0
	135	1000,0	0,0	0,0
	136	1200,0	0,0	0,0
	137	1200,0	0,0	0,0
	138	1100,0	0,0	0,0
	139	1200,0	0,0	0,0
	140	1000,0	0,0	0,0
	141	800,0	0,0	0,0
142	600,0	0,0	0,0	
Domingo	143	500,0	0,0	0,0
	144	600,0	0,0	0,0
	145	400,0	0,0	0,0
	146	600,0	0,0	0,0
	147	440,0	0,0	0,0
	148	520,0	0,0	0,0
	149	460,0	0,0	0,0
	150	450,0	0,0	0,0
	151	470,0	0,0	0,0
	152	400,0	0,0	0,0
	153	400,0	0,0	0,0
	154	500,0	0,0	0,0
	155	600,0	0,0	0,0
	156	700,0	0,0	0,0
	157	800,0	0,0	0,0
	158	1000,0	0,0	0,0
159	1000,0	0,0	0,0	
160	900,0	0,0	0,0	
161	1000,0	0,0	0,0	
162	1000,0	0,0	0,0	
163	900,0	0,0	0,0	
164	900,0	0,0	0,0	
165	800,0	0,0	0,0	
166	800,0	0,0	0,0	
167	500,0	0,0	0,0	
168	600,0	0,0	0,0	

## Anexo 4.2 - Semana de 3 a 9 de fevereiro de 2025

	Hora	Consumo Elétrico - Cura (Wh)	Consumo Térmico - Pasteurização (Wh)	Consumo Térmico - Coagulação (Wh)
Segunda-Feira	1	200,0	0,0	0,0
	2	300,0	0,0	0,0
	3	400,0	0,0	0,0
	4	300,0	0,0	0,0
	5	300,0	0,0	0,0
	6	300,0	0,0	0,0
	7	300,0	0,0	0,0
	8	200,0	0,0	0,0
	9	200,0	13832,0	0,0
	10	300,0	0,0	0,0
	11	400,0	0,0	7448,0
	12	300,0	0,0	0,0
	13	300,0	0,0	0,0
	14	300,0	0,0	0,0
	15	300,0	0,0	0,0
	16	300,0	0,0	0,0
	17	400,0	0,0	0,0
	18	200,0	0,0	0,0
	19	200,0	0,0	0,0
	20	300,0	0,0	0,0
	21	300,0	0,0	0,0
	22	400,0	0,0	0,0
	23	300,0	0,0	0,0
	24	300,0	0,0	0,0
Terça-Feira	25	300,0	0,0	0,0
	26	300,0	0,0	0,0
	27	300,0	0,0	0,0
	28	300,0	0,0	0,0
	29	200,0	0,0	0,0
	30	300,0	0,0	0,0
	31	300,0	0,0	0,0
	32	300,0	0,0	0,0
	33	300,0	13832,0	0,0
	34	300,0	0,0	0,0
	35	300,0	0,0	7448,0
	36	300,0	0,0	0,0
	37	300,0	0,0	0,0
	38	400,0	0,0	0,0
	39	300,0	0,0	0,0
	40	300,0	0,0	0,0
	41	300,0	0,0	0,0
	42	300,0	0,0	0,0
	43	300,0	0,0	0,0
	44	400,0	0,0	0,0
	45	300,0	0,0	0,0
	46	300,0	0,0	0,0
	47	300,0	0,0	0,0
	48	300,0	0,0	0,0
Quarta-Feira	49	300,0	0,0	0,0
	50	300,0	0,0	0,0
	51	300,0	0,0	0,0
	52	300,0	0,0	0,0
	53	300,0	0,0	0,0
	54	300,0	0,0	0,0
	55	300,0	0,0	0,0
	56	300,0	0,0	0,0
	57	300,0	13832,0	0,0
	58	300,0	0,0	0,0
	59	300,0	0,0	7448,0
	60	300,0	0,0	0,0
	61	300,0	0,0	0,0
	62	400,0	0,0	0,0
	63	300,0	0,0	0,0
	64	400,0	0,0	0,0

	Hora	Consumo Elétrico - Cura (Wh)	Consumo Térmico - Pasteurização (Wh)	Consumo Térmico - Coagulação (Wh)
	65	300,0	0,0	0,0
	66	200,0	0,0	0,0
	67	400,0	0,0	0,0
	68	300,0	0,0	0,0
	69	400,0	0,0	0,0
	70	300,0	0,0	0,0
	71	300,0	0,0	0,0
	72	300,0	0,0	0,0
Quinta-Feira	73	300,0	0,0	0,0
	74	300,0	0,0	0,0
	75	200,0	0,0	0,0
	76	400,0	0,0	0,0
	77	200,0	0,0	0,0
	78	300,0	0,0	0,0
	79	300,0	0,0	0,0
	80	400,0	0,0	0,0
	81	200,0	13832,0	0,0
	82	300,0	0,0	0,0
	83	400,0	0,0	7448,0
	84	300,0	0,0	0,0
	85	300,0	0,0	0,0
	86	300,0	0,0	0,0
	87	400,0	0,0	0,0
	88	300,0	0,0	0,0
	89	300,0	0,0	0,0
	90	500,0	0,0	0,0
	91	300,0	0,0	0,0
	92	300,0	0,0	0,0
93	300,0	0,0	0,0	
94	300,0	0,0	0,0	
95	200,0	0,0	0,0	
96	300,0	0,0	0,0	
Sexta-Feira	97	300,0	0,0	0,0
	98	300,0	0,0	0,0
	99	300,0	0,0	0,0
	100	300,0	0,0	0,0
	101	300,0	0,0	0,0
	102	300,0	0,0	0,0
	103	400,0	0,0	0,0
	104	300,0	0,0	0,0
	105	300,0	13832,0	0,0
	106	300,0	0,0	0,0
	107	300,0	0,0	7448,0
	108	300,0	0,0	0,0
	109	300,0	0,0	0,0
	110	300,0	0,0	0,0
	111	300,0	0,0	0,0
	112	400,0	0,0	0,0
	113	200,0	0,0	0,0
	114	300,0	0,0	0,0
	115	400,0	0,0	0,0
	116	300,0	0,0	0,0
117	300,0	0,0	0,0	
118	300,0	0,0	0,0	
119	200,0	0,0	0,0	
120	400,0	0,0	0,0	
	121	200,0	0,0	0,0
	122	300,0	0,0	0,0
	123	400,0	0,0	0,0
	124	400,0	0,0	0,0
	125	200,0	0,0	0,0
	126	300,0	0,0	0,0
	127	300,0	0,0	0,0

	Hora	Consumo Elétrico - Cura (Wh)	Consumo Térmico - Pasteurização (Wh)	Consumo Térmico - Coagulação (Wh)
Sábado	128	400,0	0,0	0,0
	129	200,0	0,0	0,0
	130	300,0	0,0	0,0
	131	400,0	0,0	0,0
	132	300,0	0,0	0,0
	133	300,0	0,0	0,0
	134	300,0	0,0	0,0
	135	200,0	0,0	0,0
	136	300,0	0,0	0,0
	137	400,0	0,0	0,0
	138	300,0	0,0	0,0
	139	400,0	0,0	0,0
	140	300,0	0,0	0,0
	141	200,0	0,0	0,0
142	300,0	0,0	0,0	
Domingo	143	300,0	0,0	0,0
	144	300,0	0,0	0,0
	145	300,0	0,0	0,0
	146	300,0	0,0	0,0
	147	300,0	0,0	0,0
	148	300,0	0,0	0,0
	149	300,0	0,0	0,0
	150	400,0	0,0	0,0
	151	300,0	0,0	0,0
	152	300,0	0,0	0,0
	153	300,0	0,0	0,0
	154	300,0	0,0	0,0
	155	300,0	0,0	0,0
	156	300,0	0,0	0,0
	157	300,0	0,0	0,0
	158	300,0	0,0	0,0
159	400,0	0,0	0,0	
160	400,0	0,0	0,0	
161	300,0	0,0	0,0	
162	300,0	0,0	0,0	
163	300,0	0,0	0,0	
164	300,0	0,0	0,0	
165	300,0	0,0	0,0	
166	400,0	0,0	0,0	
167	300,0	0,0	0,0	
168	300,0	0,0	0,0	

## Anexo 5 - Fotos do protótipo instalado no Instituto Politécnico de Beja



Sistema de pasteurização e de coagulação



Turbina eólica e coletores solares



Painéis solares fotovoltaicos



Câmara de cura com PCM's



Unidade de condensação