



Proposta de Funcionamento de uma Comunidade de Energia Renovável

Pedro Filipe Melão Gonçalves

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Prof. Doutora Maria do Rosário Alves Calado

(Versão após defesa)

Abril de 2024

Declaração de Integridade

Eu, Pedro Filipe Melão Gonçalves que abaixo assino, estudante com o número de inscrição 11721 de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 31/01/2024

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os meus amigos e família pelo apoio ao longo dos anos, sem eles nada disto seria possível.

Agradeço à minha orientadora, Professora Rosário Calado, pela disponibilidade e apoio prestados na realização desta dissertação.

Agradeço à minha namorada, Ana Sofia Neves, pelo apoio e a motivação necessários para concluir o curso e o mestrado.

Agradeço ao Instituto de Telecomunicações pela disponibilização de todos os meios necessários ao desenvolvimento desta dissertação.

Por fim, a todos os que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que o meu percurso académico chegasse ao fim.

Resumo

À medida que o mundo enfrenta desafios urgentes relacionados com as mudanças climáticas e com a transição energética para fontes de energia renováveis, as Comunidades de Energia emergem como uma abordagem inovadora e promissora para promover a produção e o consumo local de energia limpa de forma descentralizada.

Este trabalho foca-se no estudo e implementação de uma Comunidade de Energia, utilizando fontes renováveis como solar e eólica, para promover a sustentabilidade energética. A pesquisa inclui uma revisão abrangente da literatura sobre políticas energéticas globais e o papel das Comunidades de Energia na redução das emissões de carbono.

Através de uma simulação em MATLAB, foi modelada a gestão e transferência de energia entre várias instalações, considerando a geração de energia solar e eólica, o consumo, o armazenamento em baterias, e a transferência de energia excedente.

Os resultados destacam a eficácia das Comunidades de Energia em otimizar o uso de recursos renováveis e em promover a autossuficiência energética, demonstrando o potencial de tais sistemas em um contexto de transição energética global. Este trabalho contribui para o entendimento do papel vital das Comunidades de Energia na construção de um futuro energético mais sustentável e menos dependente de fontes de energia fósseis.

Palavras-chave

Energias Renováveis; Comunidades de Energia; Comunidades de Energia Renovável; Gestão de Energia; Sustentabilidade Energética; Transferência de Energia

Abstract

As the world faces urgent challenges related to climate change and the energy transition to renewable sources, Energy Communities emerge as an innovative and promising approach to promote local production and consumption of clean energy in a decentralized manner.

This work focuses on the study and implementation of an Energy Community, using renewable sources such as solar and wind, to promote energy sustainability. The research includes a comprehensive review of global energy policies and the role of Energy Communities in reducing carbon emissions.

Through a MATLAB simulation, the management and transfer of energy between various facilities were modeled, considering the generation of solar and wind energy, consumption, battery storage, and the transfer of surplus energy.

The results highlight the effectiveness of Energy Communities in optimizing the use of renewable resources and in promoting energy self-sufficiency, demonstrating the potential of such systems in a context of global energy transition. This work contributes to the understanding of the vital role of Energy Communities in building a more sustainable energy future and less dependent on fossil energy sources.

Keywords

Renewable Energy; Energy Communities; Renewable Energy Communities; Energy Management; Energy Sustainability; Energy Transfer

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Palavras-chave	iv
Keywords	v
Índice	vi
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Lista de Acrónimos	xi
Lista de Símbolos	xii
1. Introdução	i
1.1 Enquadramento	i
1.2 Políticas ambientais	2
1.3 Análise da produção de energia a partir de fontes renováveis, o seu contributo no consumo de energia primária e no consumo final bruto de energia	4
2. Comunidades de Energia Renovável (CER)	10
2.1 O que é uma comunidade de energia?	10
2.2 Habilitações para instalação de UPAC	12
2.3 Licenciamento	12
2.4 Vantagens e Desvantagens	13
2.5 Projetos Nacionais de Comunidades de Energia Renovável	14
3. Simulação da Comunidade de Energia Renovável	15
3.1 Determinação das potencialidades energéticas	16
3.2 Perfis de Consumo das instalações consideradas	21
3.3 Cálculo da potência solar	23
3.4 Cálculo da Energia Eólica	26
3.5 Filosofia de Funcionamento	28
3.5.1 Energia total gerada	28
3.5.2 Atualização da energia disponível na bateria	28
3.5.3 Cálculo do défice/excesso de energia	29

3.5.1.	Lógica subjacente às trocas de energia.....	29
3.5.5	Distribuição do excesso de energia.....	30
3.5.6	Apoio da rede elétrica.....	31
4.	Análise de Resultados obtidos da Simulação	32
4.1	Análise de Resultados	32
4.2	Trabalhos futuros.....	52
5.	Conclusão.....	53
6.	Bibliografia.....	54

Lista de Figuras

Figura 1: Objetivos Nacionais do PNEC 2030 [9]	3
Figura 2: Evolução da trajetória mínima de FER no consumo final bruto de energia [10]	5
Figura 3: Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal de 2014 a 2023 [11]	6
Figura 4: Produção anual de energia elétrica em Portugal (2023) [11]	7
Figura 5: Produção de origem renovável em Portugal (2014-2023) [11]	7
Figura 6: Percentagem de incorporação de renováveis no consumo de energia, por setor [10]	8
Figura 7: Percentagem de incorporação de renováveis no setor da eletricidade, na UE-27, em 2021 [10]	9
Figura 8: Definição do ângulo de inclinação de um painel [24]	16
Figura 9: Definição do ângulo de azimute [25]	16
Figura 10: Irradiância no dia 10 de Janeiro de 2018	19
Figura 11: Velocidade do vento no dia 10 de Janeiro de 2018	19
Figura 12: Irradiância no dia 1 de Agosto de 2018	20
Figura 13: Velocidade do vento no dia 1 de Agosto de 2018	20
Figura 14: Diagrama do funcionamento da simulação	21
Figura 15: Perfis de Consumo das Instalações no dia 10 de Janeiro de 2020	22
Figura 16: Perfis de Consumo das Instalações no dia 1 de Agosto de 2020	22
Figura 17: Estado de carga da bateria na instalação 1 no dia 10 de Janeiro de 2020	32
Figura 18: Estado de carga da bateria da instalação 2 no dia 10 de Janeiro de 2020	33
Figura 19: Estado de carga da bateria na instalação 3 no dia 10 de Janeiro de 2020	34
Figura 20: Estado de carga da bateria na instalação 4 no dia 10 de Janeiro de 2020	34
Figura 21: Estado de carga da bateria na instalação 5 no dia 10 de Janeiro de 2020	35
Figura 22: Energia gerada pela instalação 1 no dia 10 de Janeiro de 2020	36
Figura 23: Energia gerada pela instalação 2 no dia 10 de Janeiro de 2020	36
Figura 24: Energia gerada pela instalação 3 no dia 10 de Janeiro de 2020	37
Figura 25: Energia gerada pela instalação 4 no dia 10 de Janeiro de 2020	37
Figura 26: Energia gerada pela instalação 5 no dia 10 de Janeiro de 2020	38
Figura 27: Energia transferida pela instalação 1 no dia 10 de Janeiro de 2020	38
Figura 28: Energia transferida pela instalação 2 no dia 10 de Janeiro de 2020	39
Figura 29: Energia transferida pela instalação 3 no dia 10 de Janeiro de 2020	40
Figura 30: Energia enviada pela instalação 4 no dia 10 de Janeiro de 2020	41
Figura 31: Energia transferida pela instalação 5 no dia 10 de Janeiro de 2020	41
Figura 32: Estado de carga da bateria na instalação 1 no dia 1 de Agosto de 2020	42
Figura 33: Estado de carga da bateria na instalação 2 no dia 1 de Agosto de 2020	43
Figura 34: Estado de carga da bateria na instalação 3 no dia 1 de Agosto de 2020	43
Figura 35: Estado de carga da bateria na instalação 4 no dia 1 de Agosto de 2020	44
Figura 36: Estado de carga da bateria na instalação 5 no dia 1 de Agosto de 2020	44
Figura 37: Energia gerada pela instalação 1 no dia 1 de Agosto de 2020	45

Figura 38: Energia gerada pela instalação 2 no dia 1 de Agosto de 2020	46
Figura 39: Energia gerada pela instalação 3 no dia 1 de Agosto de 2020	46
Figura 40: Energia gerada pela instalação 4 no dia 1 de Agosto de 2020.....	47
Figura 41: Energia transferida pela instalação 1 no dia 1 de Agosto de 2020	48
Figura 42: Energia transferida pela instalação 2 no dia 1 de Agosto de 2020	48
Figura 43: Energia transferida pela instalação 3 no dia 1 de Agosto de 2020	49
Figura 44: Energia transferida pela instalação 4 no dia 1 de Agosto de 2020	49
Figura 45: Energia transferida pela instalação 5 no dia 1 de Agosto de 2020	50

Lista de Tabelas

Tabela 1: Potencialidade Energética do sol e do vento no dia 10 de Janeiro de 2020	17
Tabela 2: Potencialidade Energética do sol e do vento no dia 1 de Agosto de 2020	18
Tabela 3: Potência solar gerada em kW, no dia 10 de Janeiro de 2020	24
Tabela 4: Potência solar gerada, em kW, no dia 1 de Agosto de 2020	25
Tabela 5: Potência eólica gerada em kW, no dia 10 de Janeiro de 2020	27
Tabela 6: Potência eólica gerada em kW, no dia 1 de Agosto de 2020	27

Lista de Acrónimos

CER	Comunidades de Energia Renovável
AP	Acordo de Paris
CQNUAC	Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas
COP	Conferência das Partes
RNC2050	Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050
PNEC 2030	Plano Nacional Energia e Clima 2030
FER	Fontes de Energia Renovável
GEE	Gases com Efeito Estufa
CFBE	Consumo Final Bruto de Energia
UPAC	Unidades de Produção de Autoconsumo
RDF	Redes de Distribuição Fechadas
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
CM SAF	Climate Monitoring Satellite Application Facility

Lista de Símbolos

E_{gerada}	Energia Gerada
$X_{d/e}$	Défice ou Excesso de energia
P_{solar}	Potência solar
$P_{PV,STC}$	Potência fotovoltaica em condição padrão de teste
G	Irradiância solar
$G_{ref,STC}$	Irradiância de referência em condições padrão de teste
α_{VOC}	Coefficiente de temperatura da tensão em circuito aberto
T_{cel}	Temperatura da célula
T_{refSTC}	Temperatura de referência em condições padrão de teste
N_{PVS}	Número de módulos fotovoltaicos em série
N_{PVp}	Número de módulos fotovoltaicos em paralelo.
T_{amb}	Temperatura ambiente
$NOCT$	Temperatura da célula em condições de funcionamento nominal
$T_{refNOCT}$	Temperatura de referência em condições de funcionamento nominal
$P_{eólica}$	Potência eólica
ρ	Densidade do ar
A	Área varrida pelas pás
V_v	Velocidade do vento
C_p	Coefficiente de potência
$E_{armazenada}$	Energia armazenada na bateria
E_{gerada}	Energia gerada pela instalação
$E_{utilizada}$	Energia utilizada pela instalação
$E_{transferida}$	Energia transferida
$X_{d/e} (emissor)$	Défice e Excesso de energia da instalação que envia energia
$X_{d/e} (recetor)$	Défice e Excesso de energia da instalação que recebe energia
$E_{excesso}$	Energia em Excesso
$C_{disponivel}$	Capacidade disponível da bateria
$C_{bateria}$	Capacidade nominal da bateria

1. Introdução

No contexto de uma crescente preocupação global com as mudanças climáticas e a necessidade de transitar para uma matriz energética mais sustentável, as Comunidades de Energia Renovável (CER) emergem como uma abordagem inovadora e promissora. Estas comunidades representam um modelo de produção e consumo descentralizado de energia, que coloca os cidadãos e as comunidades locais no centro da transição energética. Este trabalho tem como objetivo investigar, analisar e compreender as dinâmicas e impactos, no geral, e num caso prático, das Comunidades de Energia Sustentável, explorando a sua evolução e o seu funcionamento.

1.1 Enquadramento

A ideia de comunidades de energia não é nova, mas ganhou impulso nas últimas décadas devido a avanços tecnológicos, mudanças nas políticas energéticas e uma crescente consciência sobre a necessidade de enfrentar os desafios ambientais. Essas comunidades podem variar em escala e forma, desde pequenas cooperativas locais que produzem energia solar compartilhada até redes de bairros que gerenciam e compartilham a produção e o consumo de eletricidade renovável. A Comissão Europeia tem desempenhado um papel significativo ao incentivar a implementação de Comunidades de Energia na União Europeia, reconhecendo seu potencial para alcançar metas ambiciosas de energia limpa e envolver os cidadãos na transição energética.

O desenvolvimento das fontes de energia renováveis e distribuídas, como eólica e solar, dispersas ao longo da rede de distribuição estão a ganhar grande importância e a contribuir para os objetivos políticos e ambientais estabelecidos. No entanto, a variabilidade e a intermitência dessas fontes de energia colocam novos desafios à gestão e planeamento da rede elétrica. Atualmente, a procura global por energia elétrica está a aumentar, a transição para os veículos elétricos está a crescer a cada ano e, como consequência, espera-se um aumento considerável do consumo energético na rede elétrica, embora a mesma seja alimentada maioritariamente por fontes de energia não renováveis, pelo que existe inevitavelmente a necessidade de minimizar a pegada de carbono, implementando sistemas de produção e armazenamento de energia renovável em larga escala [1], [2].

Nos últimos anos, as comunidades de energia renovável têm sido alvos de bastante interesse tanto a nível industrial, como a nível de investigação, uma vez que são as principais responsáveis da necessidade de construção de uma rede energética inteligente [3]. As expectativas são elevadas, uma vez que poderão trazer soluções para problemas que enfrentamos atualmente como a elevada procura energética e a gestão das cargas [4], [5].

O desenvolvimento científico com o intuito de estudar a implementação e integração das comunidades de energia renovável na rede elétrica é de extrema importância, uma vez que estas prometem ser fundamentais para o aumento da eficiência da rede elétrica [1], [6].

1.2 Políticas ambientais

Quanto à transição energética, Portugal assumiu o compromisso de atingir a neutralidade carbónica até 2050, enquanto contributo para as metas globais e europeias assumidas na execução do Acordo de Paris (AP) [7]. Este acordo alcançado em 2015 estabeleceu, como objetivo de longo prazo, a contenção do aumento da temperatura média mundial bem abaixo dos 2 °C em relação aos níveis pré-industriais, com o compromisso por parte da comunidade internacional de prosseguir com todos os esforços para limitar esse aumento a 1,5 °C, valores que a ciência define como máximos para se garantir a continuação da vida no planeta sem alterações demasiado disruptivas [8]. Cumprir este objetivo exige uma redução das emissões de gases com efeito de estufa superior a 85%, em relação às emissões de 2005, e uma capacidade de sequestro de carbono de 13 milhões de toneladas. Para facilitar esta transição, há que mobilizar um conjunto de instrumentos legais e de planeamento que permitam obter uma efetiva redução de emissões, enquanto se promove o investimento, o emprego e a inovação. Liderar a transição energética implica uma aposta inequívoca no investimento em produção renovável que deverá mais do que duplicar a sua capacidade instalada, na próxima década, atingindo um patamar superior a 80% de renováveis na produção de eletricidade. Até 2030, Portugal deverá alcançar uma meta de 47% de energia de fonte renovável no consumo final bruto de energia e uma meta de 20% de energia renovável nos transportes [7].

O AP, que entrou em vigor a 4 de novembro de 2016, representou assim uma mudança de paradigma na implementação da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC), com o reconhecimento explícito de que apenas com o contributo de todos é possível ultrapassar o desafio das alterações climáticas. Nesse mesmo ano, na Conferência das Partes (COP) da CQNUAC, quando Portugal assumiu o objetivo de atingir a Neutralidade Carbónica até 2050, desenvolveu o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) que estabeleceu a visão, as trajetórias e as linhas de orientação para as políticas e medidas a concretizar nesse horizonte temporal. O RNC2050, publicado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho, constituiu assim a Estratégia de desenvolvimento a longo prazo com baixas emissões de gases com efeito de estufa (GEE) submetida à CQNUAC a 20 de setembro de 2019 [8]. Assim, em articulação com os objetivos do RNC2050, foram estabelecidas metas ambiciosas, mas exequíveis, para o horizonte 2030, que se encontram no Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, de 10 de julho, e que se constitui como o principal instrumento de política energética e climática nacional para a década 2021-2030 rumo a um futuro neutro em carbono.

Os objetivos nacionais apresentados no “PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA 2021-2030 (PNEC 2030)” para o horizonte 2030 passam pelos passos apresentados na Figura 1.

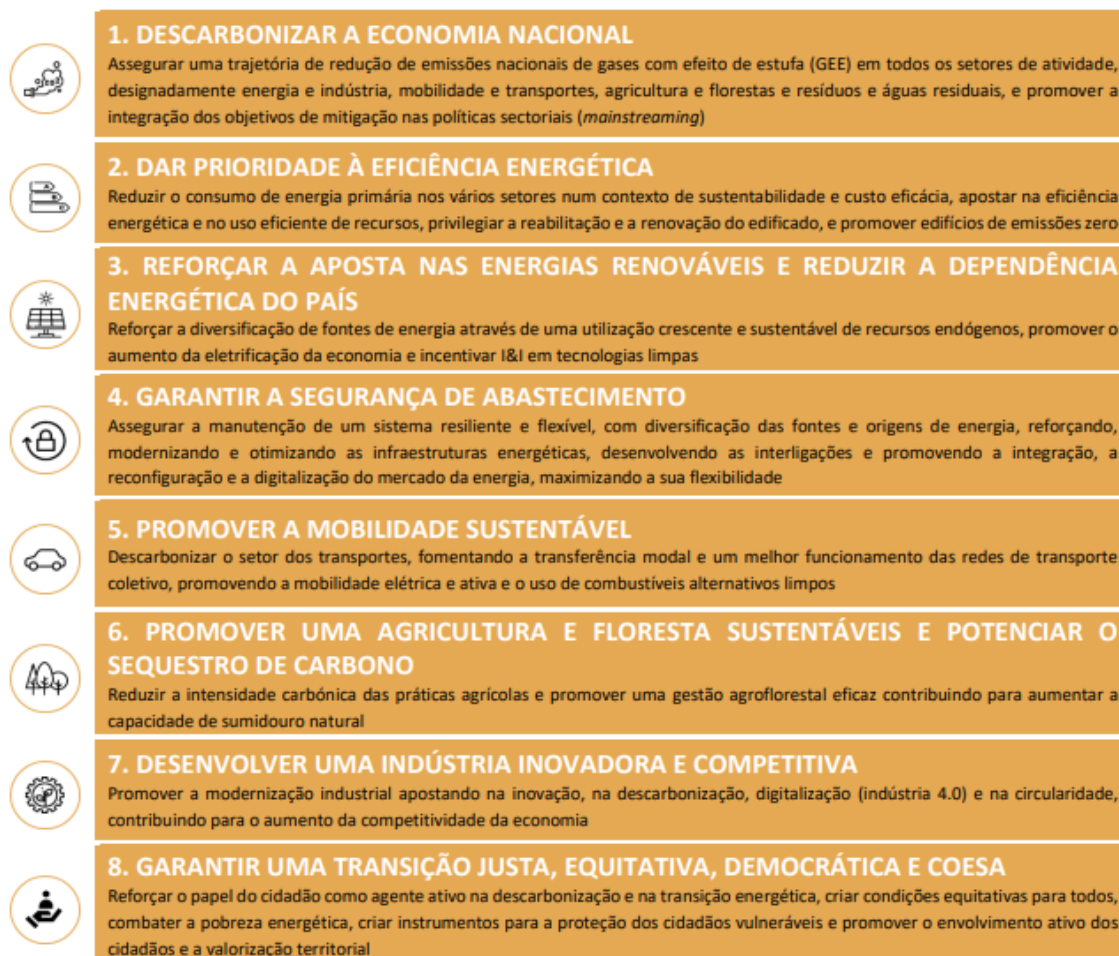


Figura 1: Objetivos Nacionais do PNEC 2030 [9]

Quanto à União Europeia (UE), a política energética estabelece cinco principais objetivos estratégicos. Primeiramente, procura-se a diversificação das fontes de energia em toda a Europa, priorizando a segurança energética por meio da solidariedade e cooperação entre os Estados membros. Em segundo lugar, visa-se a criação de um mercado interno plenamente integrado para a energia, promovendo o livre fluxo de energia por toda a UE, livre de barreiras técnicas ou regulatórias. O terceiro objetivo concentra-se na melhoria da eficiência energética, com a intenção de reduzir a dependência das importações de energia, minimizar as emissões de carbono e, ao mesmo tempo, estimular o emprego e o crescimento económico. Em quarto lugar, a política visa a "descarbonização" da economia, alinhando-a com os compromissos do Acordo de Paris e promovendo uma transição para uma economia de baixas emissões de carbono. Por último, a UE procura fomentar a pesquisa em tecnologias energéticas limpas e com baixas emissões de carbono, priorizando a inovação como meio de impulsionar a transição energética e aumentar a competitividade regional. Estes objetivos refletem o compromisso da UE em abordar questões de segurança energética, sustentabilidade ambiental e crescimento económico por meio de uma abordagem integrada à política energética [9].

A política energética da UE possui metas específicas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Em primeiro lugar, pretende-se alcançar uma redução de pelo menos 55% nas emissões de gases de efeito estufa até 2030, em comparação com os níveis de 1990. Além disso, a UE estabeleceu a ambiciosa meta de atingir emissões líquidas zero de gases de efeito estufa até o ano de 2050.

No que diz respeito aos objetivos energéticos para 2030, estabelecidos em outubro de 2014 e revistos em dezembro de 2018, foram definidas as seguintes metas:

1. Aumentar a participação das energias renováveis no consumo de energia para 32%.
2. Melhorar a eficiência energética em 32,5%.
3. Alcançar a interconexão de, pelo menos, 15% das redes elétricas da UE.

Os novos objetivos energéticos da UE, propostos informalmente em março de 2023, incluem:

1. Aumentar a quota-parte das energias renováveis no consumo de energia para 42,5%, com o objetivo de chegar a 45%.
2. Reduzir o consumo de energia primária e final da UE em 11,7% até 2030, em comparação com as projeções de 2020, equivalendo a uma redução de 40,5% e 38%, respetivamente, em comparação com as projeções de 2007 [9].

1.3 Análise da produção de energia a partir de fontes renováveis, o seu contributo no consumo de energia primária e no consumo final bruto de energia

De momento, a geração de energia primária em Portugal é quase inteiramente dependente de fontes de energia renovável (FER).

As FER, que incluem recursos naturais como água, vento, biomassa, sol e calor da Terra, têm a capacidade de se regenerar de forma natural e sustentável após serem utilizadas para produção de energia (seja ela elétrica ou térmica). Estes recursos naturais possibilitam a produção de energia hídrica, eólica, de biomassa, solar, oceânica e geotérmica.

A utilização de fontes renováveis para a produção de energia diminuiu a necessidade de importação de combustíveis fósseis como o carvão e o gás natural, tornando Portugal menos dependente energeticamente do exterior e contribuindo para a redução das emissões de gases com efeito estufa (GEE).

Os impactos das mudanças nos comportamentos dos portugueses em todos os setores de atividade, no contexto da pandemia de COVID-19 e das restrições que ela impôs, continuaram a ser sentidos em 2021. O consumo de energia final em 2021 aumentou em relação a 2020, enquanto o consumo de energia primária se manteve estável.

A aviação civil manteve-se como o setor mais impactado, com uma redução de 52% em comparação com 2019, embora tenha registado um aumento de 28% em relação a 2020. O consumo de energia no transporte rodoviário também aumentou 8,5%, após uma forte redução em 2020 (15,1%).

No ano de 2021, a produção de energia renovável atingiu 6 882 ktep (kilo toneladas equivalente de petróleo), sendo que cerca de 45,2% foram provenientes da biomassa. As bombas de calor e os biocombustíveis contribuíram com 10,3% e 4,2%, respetivamente.

Observando a Figura 2, no ano de 2020, Portugal viu um aumento na utilização de Fontes de Energia Renovável (FER) no Consumo Final Bruto de Energia (CFBE), atingindo 33,9%, um aumento de 3,3 pontos percentuais em relação ao ano anterior. Este resultado excedeu muito a meta estabelecida para o ano, um feito que pode ter sido fortemente influenciado pela redução do consumo de energia final, um efeito da pandemia da COVID-19.

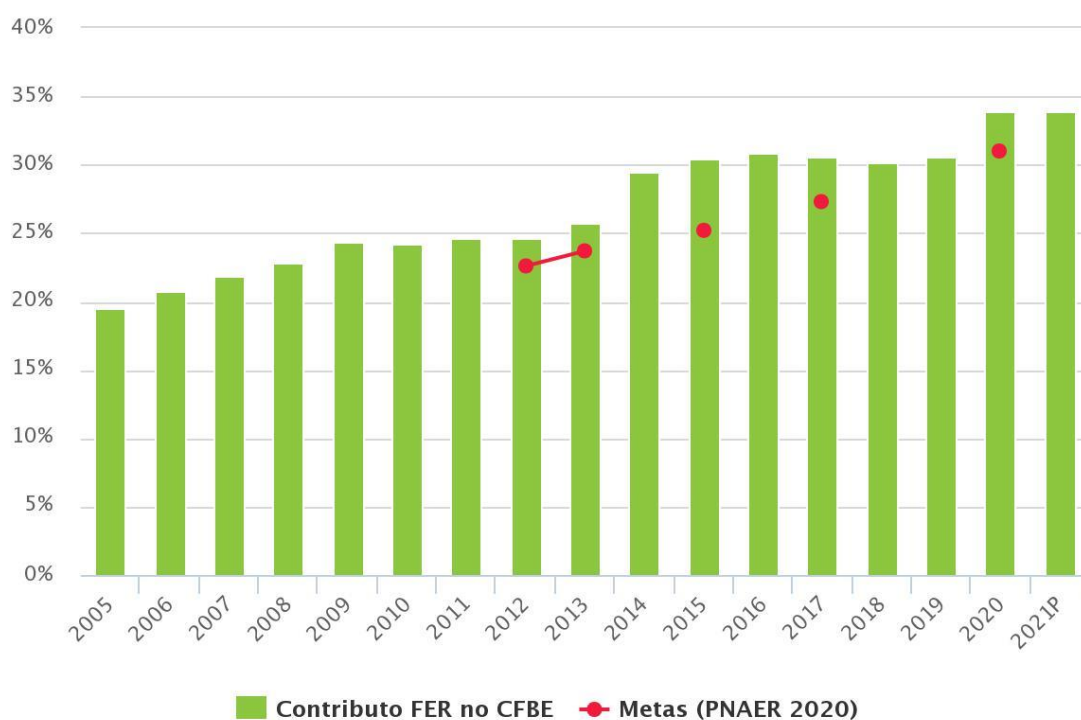


Figura 2: Evolução da trajetória mínima de FER no consumo final bruto de energia [10]

Quando comparado com os outros países da União Europeia (UE-27), Portugal destacou-se em 2020, ocupando a quinta posição mais alta e ficando 11,9 pontos percentuais acima da média da UE-27 (22%). Isso evidencia o bom desempenho de Portugal no contexto da Diretiva das Renováveis e o cumprimento das metas estabelecidas para 2020 [10].

No ano seguinte, 2021, a incorporação de FER no CFBE manteve-se estável em relação a 2020, mesmo com o aumento no consumo de energia final.

Em 2021, houve um crescimento na produção de energia elétrica a partir de Fontes de Energia Renovável (FER), como se pode observar na Figura 3, voltando aos níveis de produção renovável observados em 2016. Isso ocorreu após uma queda significativa de 54,9% na produção hídrica em 2017, devido a uma seca. Entre 2016 e 2021, as tecnologias fotovoltaica, biomassa e eólica contribuíram com um aumento de 9,2% na produção de eletricidade a partir de FER [11].

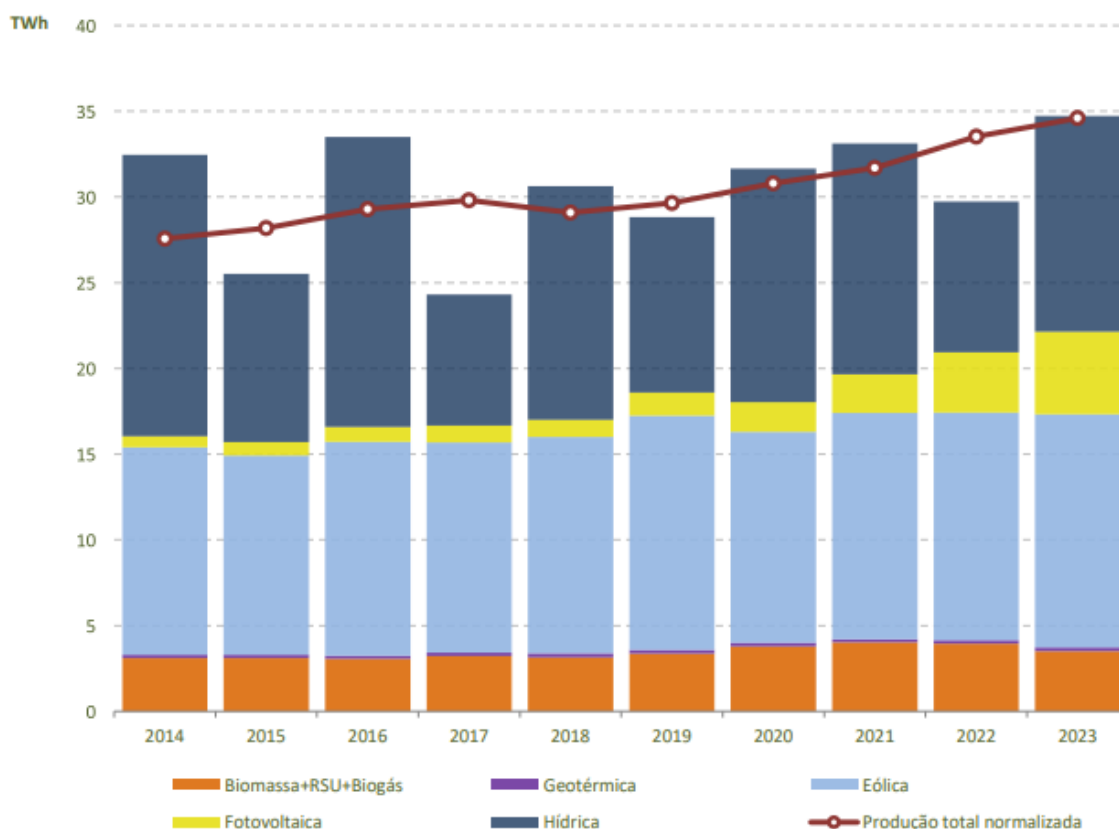


Figura 3: Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal de 2014 a 2023 [11]

No que diz respeito à produção de eletricidade a partir de FER em 2021, registou-se um total de 33 093 GWh, um aumento em relação aos 31 655 GWh produzidos em 2020. A incorporação de FER para os propósitos da Diretiva FER foi de 58,4%, embora o valor real tenha sido de 61,1%.

Constata-se uma subida de 17% na produção de origem FER no ano móvel de setembro de 2022 a agosto de 2023, relativamente ao ano de 2022. Para o mesmo período, a produção hídrica subiu 43% [11].

Analisando a produção de energia elétrica (Figura 4) por fonte renovável em 2023, constatou-se que a componente hídrica foi responsável por 52,7% da energia elétrica produzida, seguindo-se a produção eólica (25,43%), a biomassa (13,12%), a fotovoltaica (8,97%) e a geotérmica (0,38%).

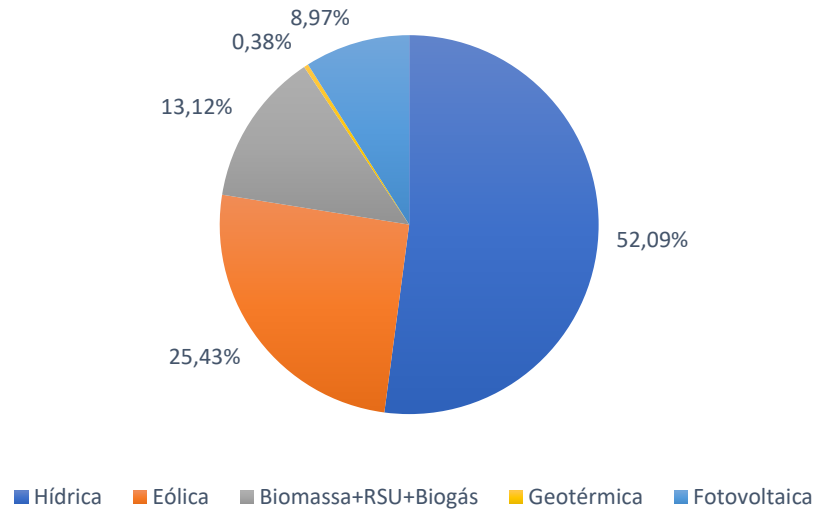


Figura 4: Produção anual de energia elétrica em Portugal (2023) [11]

Observando os dados por região (Figura5), verificou-se que cerca de 80% da produção ocorreu nas regiões Norte e Centro do país, onde se situam a maior parte dos aerogeradores e da produção hídrica [11].

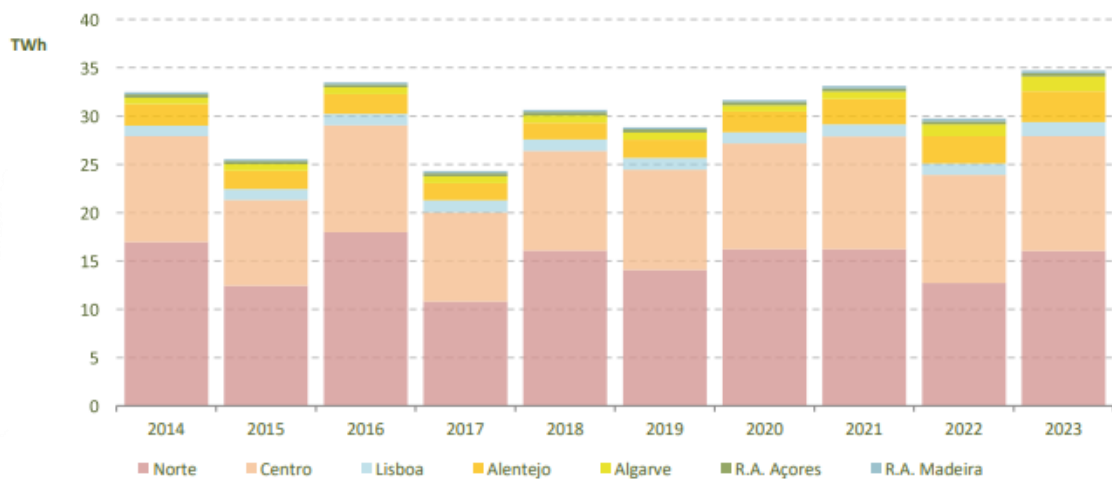


Figura 5: Produção de origem renovável em Portugal (2014-2023) [11]

A nível setorial, em 2021, para efeitos da Diretiva (UE) 2018/2001, a quota de Renováveis no setor da eletricidade foi de 58,4% (mais 0,4 p.p. face a 2020)(Figura 6), no setor do aquecimento e arrefecimento de 42,7% (mais 1,2 p.p. face a 2020) e no setor dos transportes de 8,6% (menos 1,1 p.p. face a 2020) [10]. Para 2021 já foram utilizadas as metodologias de cálculo das quotas de FER introduzidas pela Diretiva (UE) 2018/2001, que no caso do setor dos transportes levaram a uma diminuição da quota de incorporação em relação a anos anteriores.

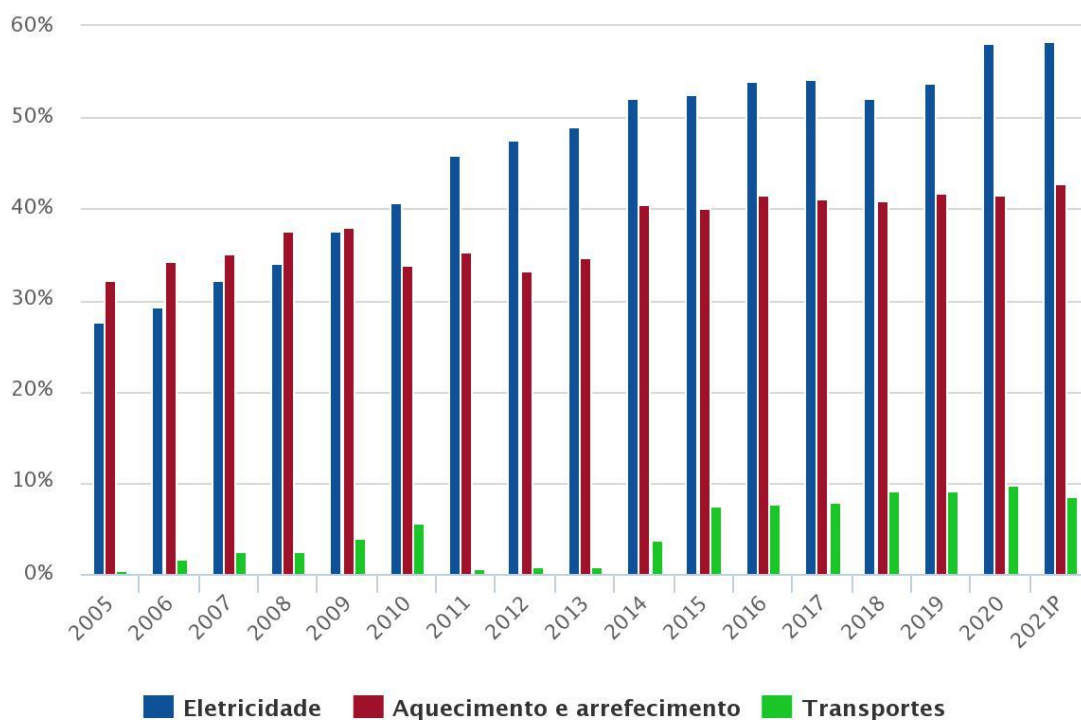


Figura 6: Percentagem de incorporação de renováveis no consumo de energia, por setor [10]

Em 2021, Portugal destacou-se como o quarto país da União Europeia (UE-27) com a maior percentagem de energias renováveis na produção de energia elétrica, atingindo 58,4%, como se pode observar na Figura 7. Este resultado notável deve-se principalmente à contribuição das fontes de energia hídrica e eólica, que representaram 81% desta produção.

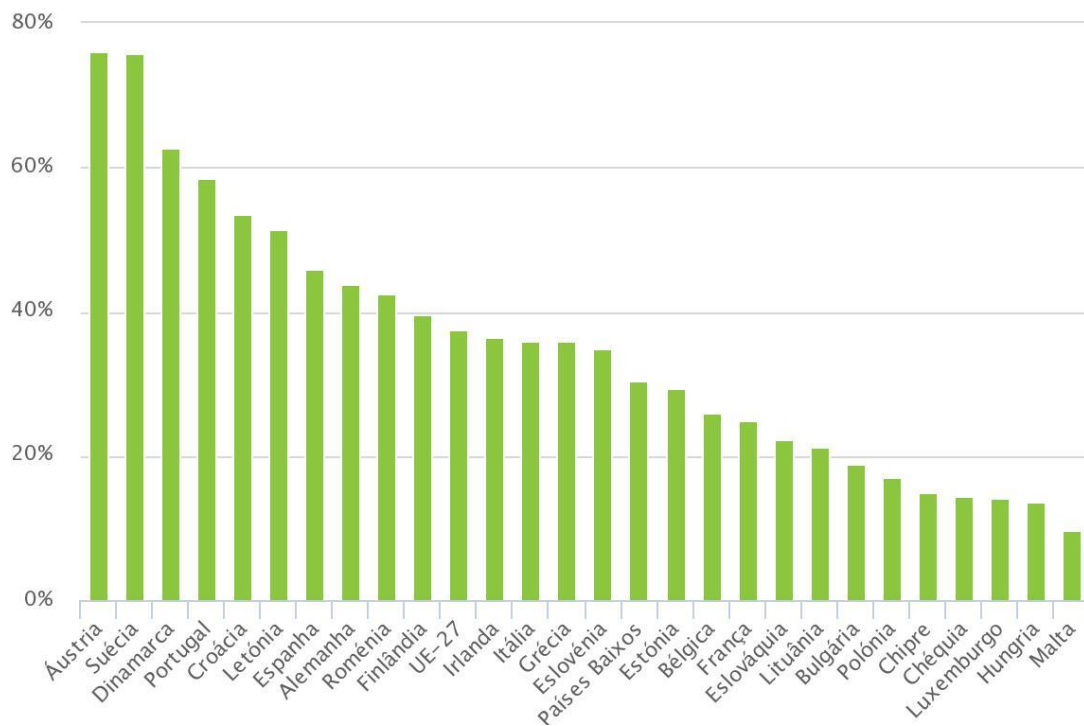


Figura 7: Percentagem de incorporação de renováveis no setor da eletricidade, na UE-27, em 2021 [10]

2. Comunidades de Energia Renovável (CER)

A transição para um sistema energético sustentável, com uma significativa integração de fontes de energia renovável (FER), representa uma mudança profunda no sistema de energia, exigindo abordagens inovadoras no seu planeamento, organização e operação. Isto marca um afastamento do modelo tradicional de produção centralizada de energia, no qual os cidadãos são meros consumidores passivos da energia fornecida nos pontos de consumo. Neste novo paradigma, a ascensão das "comunidades de energia" reflete não apenas na necessidade de adotar fontes de energia renovável de forma mais flexível, mas também a necessidade de satisfazer necessidades coletivas de energia, unindo motivações e interesses individuais diversos, o que resulta em compromissos coletivos de gestão, moldados pelas oportunidades e desafios, com implicações sociais, ambientais e económicas na produção e consumo de energia a nível local e regional. Este novo modelo energético coloca os cidadãos no centro do processo, permitindo-lhes uma participação mais ativa na produção e uso de energia [12].

2.1 O que é uma comunidade de energia?

Uma Comunidade de Energia Renovável (CER) é uma entidade coletiva que se forma através da adesão voluntária dos seus membros, que podem ser indivíduos e entidades públicas ou privadas, como pequenas e médias empresas ou autoridades locais. Esses membros estão localizados nas proximidades dos projetos de energia renovável da comunidade ou estão envolvidos em atividades relacionadas com esses projetos, incluindo a geração distribuída de energia. Os projetos de energia renovável podem ser de propriedade e desenvolvimento da CER ou de terceiros, desde que sejam realizados em benefício da comunidade. O objetivo principal de uma CER é proporcionar benefícios ambientais, económicos e sociais aos seus membros e às áreas em que opera, em vez de lucro financeiro. As CER têm a possibilidade de produzir, consumir, armazenar, comprar e vender energia renovável tanto entre os seus membros como com terceiros, partilhar e comercializar energia renovável produzida por Unidades de Produção de Autoconsumo (UPAC) a serviço da comunidade, observando os requisitos estabelecidos, sem prejudicar os direitos e obrigações dos membros da CER enquanto consumidores individuais e aceder a todos os mercados de energia, incluindo serviços de sistema, tanto de forma direta como por meio de agregação [13].

De acordo com o Decreto-Lei n.º 15/2022 no regime de Autoconsumo e CER, o autoconsumidor tem direitos, como também tem deveres. Este, tem como direitos:

- a) Instalar uma ou mais Unidades de Produção de Autoconsumo (UPAC).
- b) Estabelecer e operar conexões diretas quando não há acesso à rede pública e estabelecer redes internas.
- c) Estabelecer, adquirir ou operar Redes de Distribuição Fechadas (RDF).

- d) Consumir a eletricidade produzida ou armazenada nas suas próprias instalações associadas às UPAC.
- e) Transacionar a energia excedente produzida para autoconsumo, seja através dos mercados de eletricidade, como mercados organizados ou contratos bilaterais, ou através de acordos de comercialização entre pares, diretamente ou por meio de terceiros.
- f) Pagar tarifas e encargos proporcionais e não discriminatórios que estejam relacionados com a sua atividade de autoconsumo, desde que esses custos sejam justos.
- g) Operar instalações de armazenamento de energia, seja associada às UPAC ou independentes, sem incorrer em encargos duplicados, incluindo encargos de acesso à rede, desde que a eletricidade armazenada seja usada nas suas próprias instalações.
- h) Solicitar a emissão de garantias de origem para a eletricidade excedente produzida pelas UPAC e injetada na rede.
- i) Manter os seus direitos e obrigações como consumidor e autoconsumidor de eletricidade
- j) Aceder às informações disponibilizadas na plataforma eletrónica da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) relacionadas ao seu perfil de produção e consumo de energia e autorizar terceiros o acesso a essas informações.
- k) Encerrar a atividade de autoconsumo, se necessário.

Estes direitos visam promover a produção e consumo de energia sustentável por parte dos autoconsumidores em Portugal, incentivando o uso de fontes de energia renovável e a participação ativa no sistema energético.

São deveres do autoconsumidor:

- a) Obter um título de controlo conforme definido no Decreto-Lei n.º 15/2022.
- b) Suportar o custo das modificações necessárias na ligação das Unidades de Produção de Autoconsumo (UPAC) à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), de acordo com as regras estabelecidas na regulamentação.
- c) Assumir os encargos relacionados com a ligação das UPAC à RESP e aos sistemas específicos de gestão dinâmica, quando aplicável, de acordo com as normas regulamentares.
- d) Pagar as tarifas aplicáveis sempre que haja utilização da RESP.
- e) Dimensionar a UPAC de forma que a produção de energia elétrica se aproxime o máximo possível do consumo, evitando o excesso de produção.
- f) Fornecer informações e dados técnicos à entidade responsável pela fiscalização da atividade de produção em autoconsumo, incluindo dados relativos à eletricidade produzida pelas UPAC, quando solicitado.
- g) Facilitar o acesso às UPAC para o pessoal técnico de entidades competentes, do agregador e do operador de rede, no exercício das respetivas funções e direitos contratualmente estabelecidos.
- h) Garantir que os equipamentos de produção instalados estejam certificados de acordo com os requisitos aplicáveis.
- i) Quando a atividade de autoconsumo cessar, seguir os procedimentos necessários para remover a UPAC, outros sistemas de gestão, equipamentos e instalações auxiliares, se aplicável[14].

Estas obrigações visam regulamentar o funcionamento das UPAC e garantir o cumprimento das normas e regulamentos relacionados com o autoconsumo de energia em Portugal.

2.2 Habilitações para instalação de UPAC

Para a instalação de Unidades de Produção de Autoconsumo (UPAC) em Portugal, são necessários requisitos técnicos de habilitação que variam com base na potência do sistema a ser instalado. As UPACs com potência superior a 700W devem ser obrigatoriamente instaladas por entidades qualificadas em instalações elétricas de serviço particular, de acordo com a Lei n.º 14/2015, de 16 de fevereiro, e o Decreto-Lei n.º 96/2017, de 10 de agosto, na sua versão atual. É essencial destacar que, antes de instalar os equipamentos, a entidade instaladora ou o técnico responsável deve garantir que esses equipamentos estejam certificados para conexão à rede elétrica, conforme o Artigo 96º do Decreto-Lei n.º 15/2022. Caso contrário, a instalação não receberá aprovação para operação. Além disso, esses intervenientes devem verificar se a UPAC está isenta de controlo prévio e se foi devidamente registada ou licenciada [13].

2.3 Licenciamento

Para a instalação de uma ou mais UPACs em comunidades de energia, é necessário efetuar um procedimento de licenciamento. Este é o primeiro passo a realizar para usufruir das atividades de autoconsumo e armazenamento de eletricidade e está sujeito a diferentes regras que dependem da potência do sistema a instalar, regras essas que são a isenção de controlo prévio, a comunicação prévia, o registo prévio e certificado de exploração, e por fim, as licenças de produção e de exploração.

A isenção de controlo prévio é aplicada à produção de eletricidade para autoconsumo com capacidade instalada igual ou inferior a 700 W, desde que não esteja prevista a injeção de excedente na RESP.

A comunicação prévia é aplicada à produção de eletricidade para autoconsumo com potência instalada superior a 700 W e igual ou inferior a 30 kW, e é necessário o comprovativo da apresentação da comunicação prévia que habilita a instalação da UPAC.

O registo prévio e o certificado de exploração são aplicados, à produção de eletricidade para autoconsumo com potência instalada superior a 30 kW e igual ou inferior a 1 MW, ao armazenamento autónomo de eletricidade com potência instalada igual ou inferior a 1 MW. É necessário o comprovativo de registo prévio, que habilita à instalação da UPAC ou da instalação de armazenamento e o certificado de exploração, que habilita a UPAC a iniciar o seu funcionamento.

A licença de produção e a licença de exploração são necessárias para autoconsumo com potência instalada superior a 1 MW, e para instalações de armazenamento autónomo de eletricidade com potência instalada superior a 1 MW. A licença de produção habilita ao estabelecimento e exercício

das atividades de autoconsumo ou armazenamento de eletricidade e a licença de exploração habilita a entrada em exploração da instalação de AC ou armazenamento de eletricidade [14].

2.4 Vantagens e Desvantagens

As Comunidades de Energia Renovável têm como objetivo promover a coesão social e territorial em Portugal, o que resulta na geração de empregos e no aumento da competitividade das empresas locais. Além disso, elas fomentam o desenvolvimento de soluções inovadoras e a criação de novas oportunidades tecnológicas.

As vantagens não se limitam à preservação do meio ambiente e à redução das despesas de eletricidade. Em sinergia com outros projetos, estas comunidades desempenham também um papel crucial no avanço das metas e objetivos de Portugal relacionados à energia e às questões climáticas.

As Comunidades de Energia, como uma inovação no modelo de produção e distribuição de energia, apresentam um conjunto de vantagens e desvantagens que merecem análise aprofundada.

Do ponto de vista das vantagens, é notável a sua contribuição para a sustentabilidade ambiental. Ao darem prioridade à geração de energia a partir de fontes renováveis, como solar, eólica e hidroelétrica, estas comunidades desempenham um papel significativo na redução das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para os esforços globais de mitigação das alterações climáticas.

Além disso, as Comunidades de Energia promovem a descentralização da produção de energia, conferindo aos consumidores maior autonomia e reduzindo a dependência das grandes empresas de energia. Esse aumento da resiliência energética é uma vantagem notável em termos de segurança e autonomia energética[15].

A participação ativa dos cidadãos na produção, gestão e consumo de energia é outra característica positiva destas comunidades. Essa participação ativa fomenta a consciência pública sobre as questões energéticas e fortalece os laços comunitários, promovendo a coesão social e territorial[16].

Em relação aos aspetos financeiros, as Comunidades de Energia permitem a partilha de custos e benefícios entre os seus membros, o que pode resultar em reduções substanciais nas faturas de energia e em economias financeiras consideráveis a longo prazo[17].

Estas comunidades oferecem ainda flexibilidade energética, facilitando o armazenamento de energia e a gestão inteligente, o que possibilita a integração de tecnologias emergentes, como armazenamento de energia e veículos elétricos, tornando o sistema energético mais adaptável e eficiente.

No entanto, é importante reconhecer os desafios inerentes às Comunidades de Energia. A complexidade regulatória é um deles, uma vez que a formação e operação dessas comunidades exigem um profundo entendimento da regulamentação em vigor, o que pode ser complicado e que está também sujeita a alterações frequentes nas políticas energéticas[18][19].

As barreiras financeiras também constituem um obstáculo, visto que a implementação inicial de projetos de energia renovável pode exigir investimentos significativos, o que pode ser um desafio para algumas comunidades, especialmente as mais desfavorecidas [18].

A desigualdade de participação é outra preocupação relevante, pois nem todos os membros de uma comunidade podem ter os recursos ou o interesse necessário para se envolver ativamente, o que pode criar disparidades na distribuição dos benefícios[20].

A complexidade técnica representa um desafio adicional, uma vez que a gestão simultânea de múltiplas fontes de energia renovável, armazenamento e distribuição requer competências específicas e conhecimentos especializados.

A dificuldade de gerir internamente e de forma totalmente democrática as comunidades energéticas, visto que ainda necessitam de um modelo forte e bem-sucedido sobre o qual construir para assegurar uma governação interna totalmente justa e eficaz[18].

Por fim, a dependência das condições climáticas para a produção de energia renovável pode resultar em variações na disponibilidade de energia, o que pode afetar a fiabilidade do fornecimento, especialmente em regiões com condições climáticas imprevisíveis.

Em resumo, as Comunidades de Energia representam um modelo promissor para a transição para um sistema energético mais sustentável e participativo. No entanto, a implementação bem-sucedida dessas comunidades requer uma abordagem cuidadosa e a superação de desafios relacionados com a regulamentação, financiamento, participação e complexidade técnica[21].

2.5 Projetos Nacionais de Comunidades de Energia Renovável

A Santa Casa da Misericórdia de Miranda do Douro assume a liderança ao ser a primeira das 100 Comunidades de Energia Renovável planeadas pela Cleanwatts em Portugal. Este projeto inovador envolve a instalação de painéis solares fotovoltaicos em diversos telhados, criando a capacidade de gerar, consumir e partilhar energia entre três edifícios da Misericórdia: a sede, o lar de idosos e a unidade de cuidados continuados. Para além de contribuir para a redução da pegada ecológica, esta comunidade já conseguiu reduzir a sua fatura de energia em pelo menos 10%, comparativamente com os preços médios de mercado.

Contudo, os benefícios não se limitam à Santa Casa. Após o autoconsumo, a energia excedente pode ser aproveitada por outras instituições em Miranda do Douro, como a autarquia, os bombeiros e até mesmo pelos colaboradores da Misericórdia que desejem obter descontos na sua fatura de energia elétrica para uso doméstico.

3. Simulação da Comunidade de Energia Renovável

O MATLAB, é uma poderosa linguagem de programação e ambiente de desenvolvimento projetado para facilitar a computação numérica, a visualização de dados e a resolução de problemas matemáticos complexos. No contexto desta dissertação, o MATLAB é utilizado para criar uma simulação de gestão de energia para uma comunidade de cinco instalações. A estratégia tem como objetivo oferecer uma abordagem sustentável para o consumo de energia a longo de um período de um dia de Inverno e de um dia de Verão. O programa calcula o consumo, a produção de energia solar e eólica, a quantidade de energia armazenada e efetua a distribuição eficiente de energia para garantir a sustentabilidade energética da comunidade.

A estratégia inicia com a definição de parâmetros essenciais, como o número de instalações na comunidade, o número de horas considerado na simulação e o consumo de energia por hora em cada instalação.

É também considerada a capacidade de armazenamento de bateria para cada instalação e um acompanhamento da quantidade de energia armazenada em bateria para cada instalação a cada hora.

O ciclo principal considera cada hora e cada instalação para calcular o excedente ou o déficit de energia. É gerida a carga e descarga da bateria para equilibrar o excedente e/ou o déficit de energia. O excedente de energia de uma instalação, caso haja, é distribuído para cobrir o déficit de outras instalações transferindo-se energia para as instalações que dela necessitem.

Esta simulação proporciona pontos de vista abrangentes sobre como as instalações numa comunidade podem gerir eficientemente a sua energia, promovendo uma abordagem sustentável e fornecendo uma base analítica robusta para avaliar o desempenho energético ao longo do tempo.

Num contexto global, caracterizado por uma crescente sensibilização ambiental e pela imperatividade da transição para fontes de energia sustentáveis, os projetos de comunidades de energia desempenham um papel crucial na construção de um futuro mais verde e eficiente. Neste trabalho, analisam-se as potencialidades energéticas de uma comunidade composta por cinco instalações, com o objetivo de implementar sistemas solares e eólicos capazes de atender às necessidades energéticas locais de forma eficaz e sustentável.

Esta comunidade de instalações apresenta características geográficas e climáticas propícias à captação de energia solar e eólica, utilizando-se dados reais de irradiação solar, velocidade do vento, os ângulos da inclinação e de azimute. Este projeto pretende explorar o potencial renovável destes recursos naturais de forma otimizada.

Ao longo desta dissertação, serão destacados os benefícios ambientais que a implementação deste projeto pode proporcionar, contribuindo para uma abordagem integrada e sustentável.

Esta breve introdução serve como porta de entrada para a compreensão do estudo que se segue, delineando os objetivos da pesquisa, a importância do contexto escolhido e a relevância do projeto de comunidade de energia no panorama atual.

3.1 Determinação das potencialidades energéticas

A inclinação e o azimute dos painéis solares são parâmetros vitais para maximizar a eficiência na captação de energia solar. A inclinação dos painéis solares (Figura 8) é essencial para garantir que eles estejam alinhados de forma otimizada em relação ao sol. O ângulo a que o painel solar deverá ficar inclinado também vai depender da latitude a que nos encontramos durante o ano. Por exemplo, no hemisfério norte do planeta, à medida que subimos, o sol está mais baixo a nível do horizonte. Para o hemisfério sul acontece o contrário, o sol está mais alto relativamente ao horizonte[22]. O azimute (Figura 9) é o ângulo formado pelo plano vertical do sol com o sul geográfico, -90° para Este, 0° para Sul e 90° para Oeste[23].

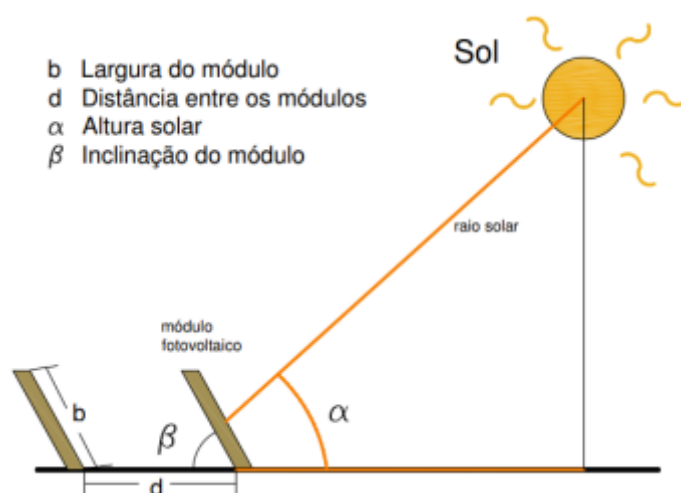


Figura 8: Definição do ângulo de inclinação de um painel [24]

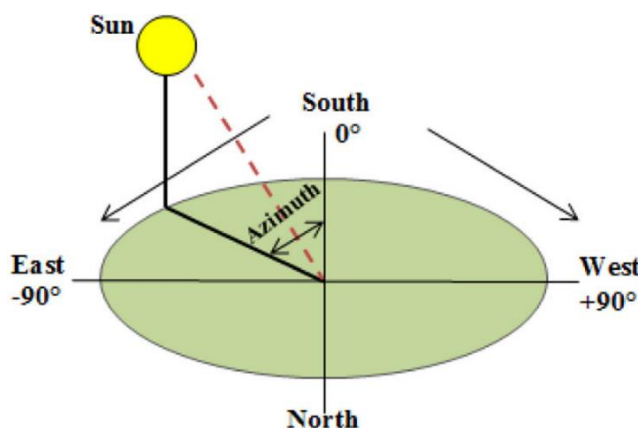


Figura 9: Definição do ângulo de azimute [25]

Os dados utilizados nesta análise foram obtidos através do PVGIS-SARAH2, considerando duas datas representativas: 10 de janeiro de 2020 (inverno) e 1 de agosto de 2020(verão). Os mesmos dados, proporcionam uma visão sobre como as variações sazonais impactam a produção de energia. O inverno, caracterizado por dias mais curtos e o sol numa trajetória mais baixa, contrasta com o verão, quando os dias são mais longos e o sol atinge ângulos mais altos no céu. Estas diferenças sazonais têm implicações significativas na inclinação e azimute ideais para otimizar a eficiência energética ao longo do ano. A integração destes parâmetros na concepção do projeto é crucial para assegurar a máxima eficiência e sustentabilidade ao longo de todo o ano. O PVGIS-SARAH2 é um conjunto de dados de radiação solar que foi derivado com base na segunda versão do registo de dados de radiação solar SARAH fornecido pelo EUMETSAT Climate Monitoring Satellite Application Facility (CM SAF)[23]. O PVGIS-SARAH2 usa as imagens dos satélites geostacionários METEOSAT que cobrem a Europa, África e Ásia ($\pm 65^\circ$ de longitude e $\pm 65^\circ$ de latitude). Os conjuntos de dados de radiação solar consistem na irradiação média ao longo do período em questão, levando em conta tanto o dia quanto a noite, medidos em W/m^2 [23]. Esta base de dados fornece também outros dados uteis a este estudo, como a velocidade do vento a 10m de altura em m/s e a temperatura ambiente em $^\circ C$. Tendo em conta as condições iniciais fornecidas pela base de dados, latitude 40.290° , longitude -7.479° , ângulo de inclinação do painel de 34° e azimute de -7° , foram utilizados os valores apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2 para os dias 10 de Janeiro de 2020 e 1 de Agosto de 2020 respetivamente.

Tabela 1: Dados meteorológicos no dia 10 de Janeiro de 2020

Horas	Irradiância (W/m^2)	Velocidade do Vento(m/s)	Temperatura ($^\circ C$)
0	0	2	4,03
1	0	2,07	3,69
2	0	2	3,23
3	0	2,14	2,91
4	0	2,28	2,36
5	0	2,28	1,58
6	0	2,28	0,96
7	0	2,28	0,61
8	0	2,21	0,76
9	461,72	2,21	1,99
10	667,13	2,28	4,13
11	819,01	2,9	6,23
12	874,14	3,38	7,78
13	854,34	3,45	8,75
14	766,04	3,45	9,28
15	611,45	3,24	9,41
16	362,53	2,76	9,07

17	0	2,28	8,02
18	0	2,28	6,55
19	0	2,62	5,88
20	0	2,55	5,11
21	0	2,41	4,44
22	0	2,34	3,77
23	0	2,28	3,14

Tabela 2: Dados meteorológicos no dia 1 de Agosto de 2020

Horas	Irradiância (W/m ²)	Velocidade do Vento(m/s)	Temperatura (°C)
0	0	1,66	21,44
1	0	1,66	20,13
2	0	1,59	19,04
3	0	1,45	18,27
4	0	1,52	17,57
5	0	1,52	17,03
6	17,32	1,45	16,86
7	141,33	1,38	18,98
8	340,04	1,72	22,77
9	515,48	1,86	25,49
10	632,23	2,14	27,64
11	704,24	2,14	29,26
12	739,47	2,34	30,51
13	723,18	2,69	31,38
14	672,78	3,17	31,88
15	565,05	3,38	31,83
16	408,02	3,45	31,42
17	222,32	3,45	30,5
18	45,83	3,31	29,1
19	11,64	2,9	27,61
20	0	2,62	25,56
21	0	2,14	23,87
22	0	1,86	22,44
23	0	1,66	21,19

No dia 10 de Janeiro, Figura 10, vê-se um pico de irradiância solar ao redor do meio-dia. Este comportamento é típico devido à posição do sol mais baixa no céu durante o inverno, resultando numa menor intensidade de radiação solar recebida.

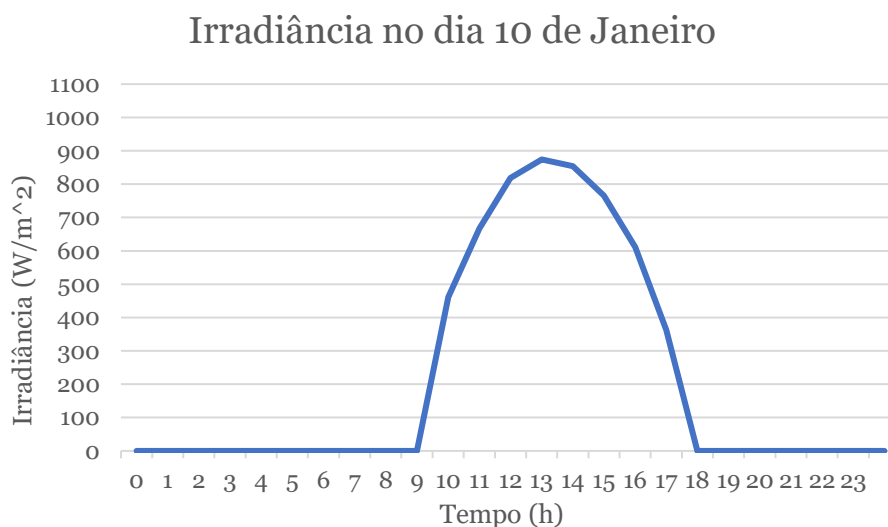


Figura 10: Irradiância no dia 10 de Janeiro de 2018

Para o mesmo dia, a velocidade do vento (Figura 11) começa com valores mais baixos, aumentando gradualmente durante o dia, com um pico na parte da tarde, seguido por uma redução no final do dia. Estes padrões podem ser atribuídos a diversas influências locais, incluindo a topografia da região e o regime meteorológico.

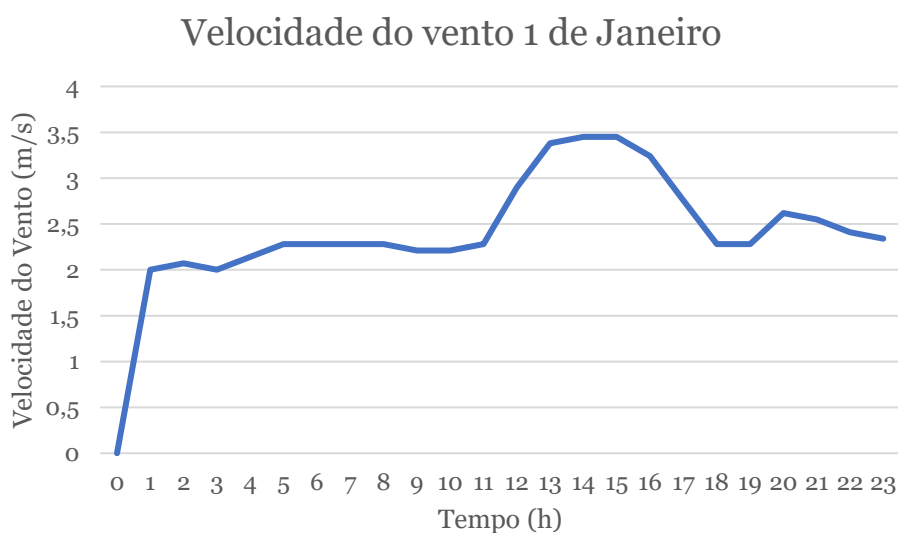


Figura 11: Velocidade do vento no dia 10 de Janeiro de 2018

Já no dia 1 de Agosto (Figura 12), a irradiância solar atinge valores muito mais elevados, o que reflete as características típicas do verão, com dias mais longos e uma maior exposição à radiação solar.



Figura 12: Irradiância no dia 1 de Agosto de 2018

Quanto á velocidade do vento no dia 1 de Agosto, Figura 13, demonstra um perfil diferente, com um aumento progressivo pela manhã e um pico à tarde, por volta as 16 horas.

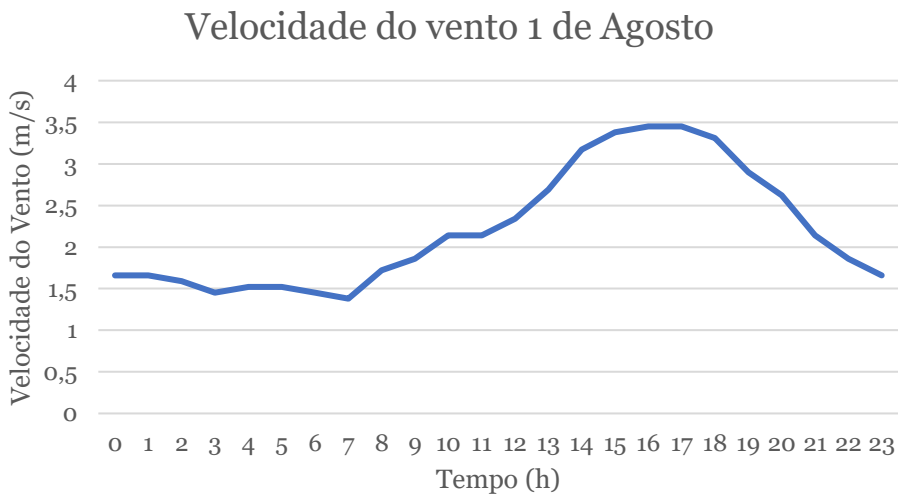


Figura 13: Velocidade do vento no dia 1 de Agosto de 2018

Os dados ilustrados nestes gráficos são essenciais para o desenho e otimização de infraestruturas que visam a sustentabilidade energética, permitindo uma resposta mais eficaz às flutuações de oferta e demanda energéticas e contribuindo para a resiliência do sistema energético perante as variações ambientais.

3.2. Perfis de Consumo das instalações consideradas

Para a recolha destes perfis foi utilizada a base de dados ELMAS que oferece um conjunto de dados com 18 perfis de carga, com uma resolução temporal horária que representam os principais setores industriais e terciários em França no ano de 2018 [26]. Teve-se também em conta que estes consumos refletem clientes industriais médios[27], e por isso, vai-se poder observar nas figuras seguintes (Figura 15 e 16), os perfis de consumo das instalações para o dia 10 de Janeiro e para o dia 1 de Agosto de 2020.

Para a simulação em causa foram utilizadas 5 instalações: a instalação 1 com geração de energia solar e bateria para armazenar energia, a instalação 2 com energia eólica e bateria, a instalação 3 com energia solar, energia eólica e bateria, a instalação 4 com geração de energia solar e bateria e por fim a instalação 5 apenas com bateria, ou seja, um consumidor.

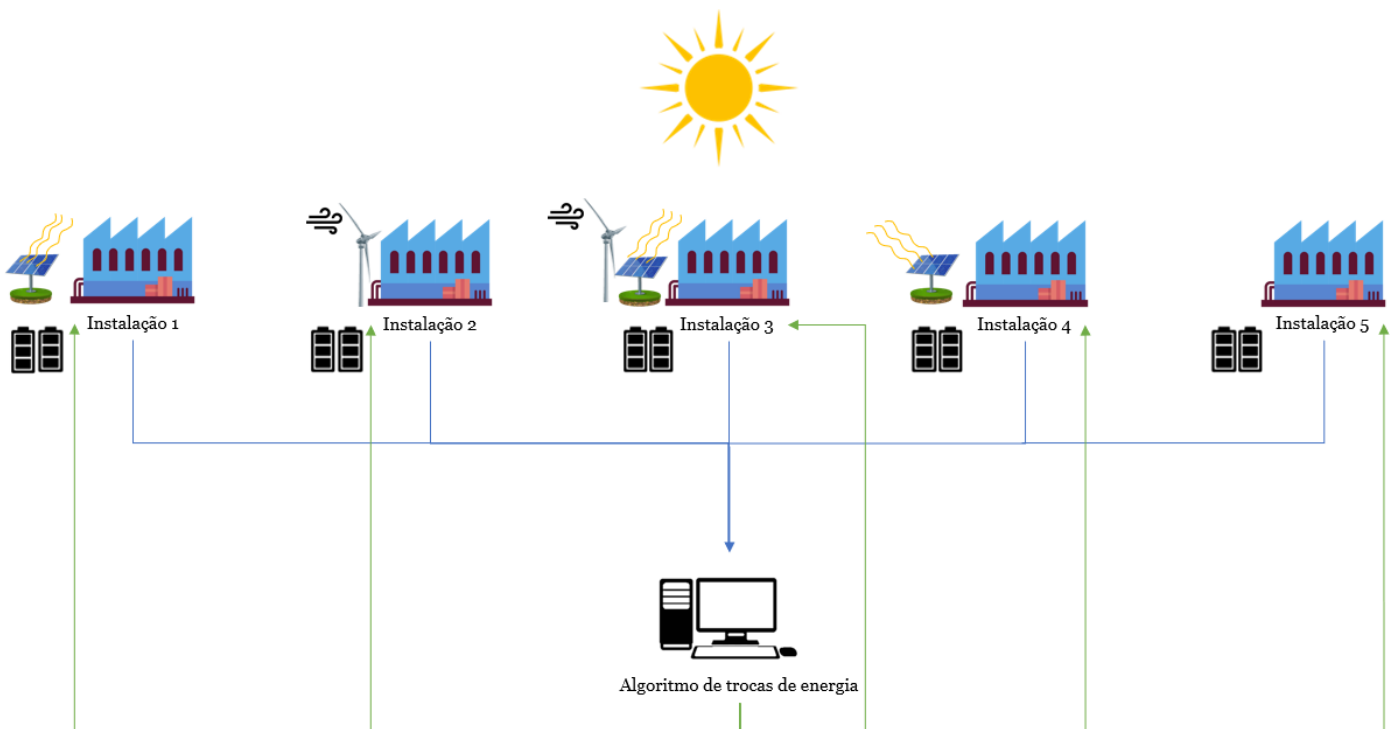


Figura 14: Diagrama do funcionamento da simulação

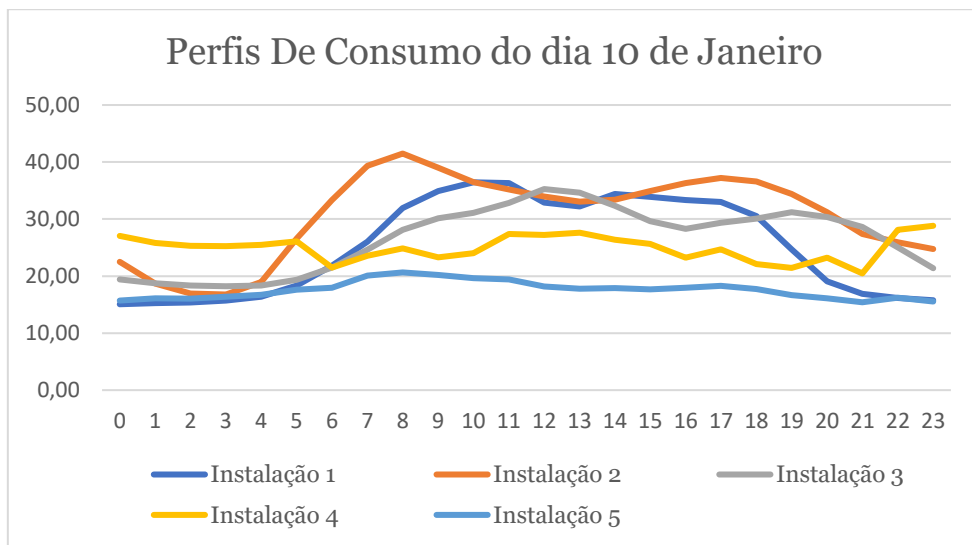


Figura 15: Perfis de Consumo das Instalações no dia 10 de Janeiro de 2020

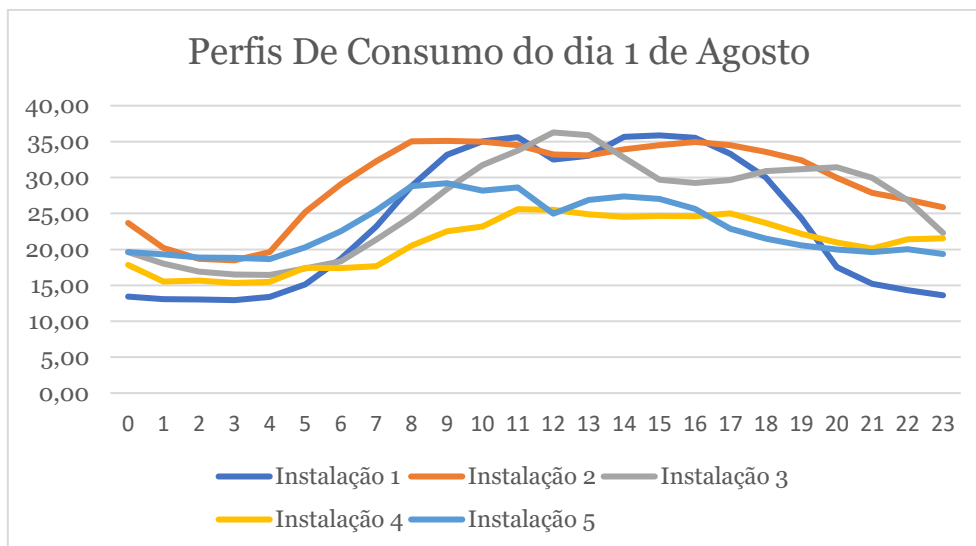


Figura 16: Perfis de Consumo das Instalações no dia 1 de Agosto de 2020

3.3. Cálculo da potência solar

O cálculo da potência gerada pela energia solar é dado pela equação (1) [28].

$$P_{solar} = \left[P_{PV,STC} * \frac{G}{G_{ref,STC}} * [1 - \alpha_{voc} * (T_{cel} - T_{ref,STC})] \right] * N_{PVs} * N_{PVp} \quad (1)$$

Onde:

P_{solar} representa a potência solar (W), $P_{PV,STC}$ a potência fotovoltaica em condição padrão de teste, G a irradiância solar (W/m^2), $G_{ref,STC}$ a irradiância de referência em condições padrão de teste ($1000 W/m^2$), α_{voc} o coeficiente de temperatura da tensão em circuito aberto, T_{cel} a temperatura da célula ($^{\circ}C$), $T_{ref,STC}$ a temperatura de referência em condições padrão de teste ($25^{\circ}C$), N_{PVs} o número de módulos fotovoltaicos em série e N_{PVp} o número de módulos fotovoltaicos em paralelo.

A temperatura da célula é calculada através da equação (2) [28].

$$T_{cel} = T_{amb} + \frac{G}{G_{ref,STC}} * (NOCT - T_{ref,NOCT}) \quad (2)$$

Onde:

T_{amb} é a temperatura ambiente, G a irradiância solar (W/m^2), $G_{ref,STC}$ a irradiância de referência em condições padrão de teste ($1000 W/m^2$), $NOCT$ a temperatura da célula em condições de funcionamento nominal e $T_{ref,NOCT}$ a temperatura de referência em condições de funcionamento nominal ($20^{\circ}C$).

Os valores adotados para os parâmetros da potência fotovoltaica em condições padrão de teste ($P_{PV,STC}$), coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto (α_{voc}), temperatura nominal da célula em condições de funcionamento nominal (NOCT) foram obtidos do manual do painel TSM-DE18M [29]. Os valores de potências que serão apresentados nas tabelas seguintes dizem respeito à utilização do painel referido, com 505 W de potência nominal.

Depois de aplicada a Equação (1), obtiveram-se os seguintes valores da potência solar gerada em kW no dia 10 de Janeiro de 2020 e no dia 1 de Agosto de 2020, Tabela 3 e Tabela 4 respectivamente.

Tabela 3: Energia solar gerada em kWh, no dia 10 de Janeiro de 2020

Horas	Instalação 1	Instalação 2	Instalação 3	Instalação 4
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	17.89	0	17.89	17.89
10	26.23	0	26.23	26.23
11	32.60	0	32.60	32.60
12	35.018	0	35.01	35.01
13	34.28	0	34.28	34.28
14	30.66	0	30.66	30.66
15	24.32	0	24.32	24.32
16	14.26	0	14.26	14.26
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0

Tabela 4: Energia solar gerada, em kWh, no dia 1 de Agosto de 2020

Horas	Instalação 1	Instalação 2	Instalação 3	Instalação 4
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	1,36	0	1,36	1,36
7	8,53	0	8,53	8,53
8	18,11	0	18,11	18,11
9	27,91	0	27,91	27,91
10	35,44	0	35,44	35,44
11	40,76	0	40,76	40,76
12	43,50	0	43,50	43,50
13	42,41	0	42,41	42,41
14	38,81	0	38,81	38,81
15	31,86	0	31,86	31,86
16	22,74	0	22,74	22,74
17	13,26	0	13,26	13,26
18	4,13	0	4,13	4,13
19	1,11	0	1,11	1,11
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0

3.4. Cálculo da Energia Eólica

O cálculo da potência gerada pela energia eólica é dado pelas equações 3, 4 e 5 [30].

$$P_t = P_r \begin{cases} 0, & V < V_c \\ a \times V^3 - b \times P_r, & V_c < V < V_r \\ 1, & V_r < V < V_f \\ 0, & V > V_f \end{cases} \quad (3)$$

Onde:

P_t é a potência de saída do aerogerador, P_r é a potência nominal e V_c , V_r e V_f representam a velocidade de ativação, velocidade nominal e velocidade de desativação, respetivamente.

$$a = P_r / (V_r^3 - V_c^3) \text{ and } b = V_c^3 / (V_r^3 - V_c^3). \quad (4)$$

A velocidade é medida a uma determinada altura e, em seguida, esses valores medidos são transformados de acordo com a altura real da turbina usando a equação 5.

$$V_{hub} = V_o \times \left(\frac{Z_{hub}}{Z_o} \right)^\alpha \quad (5)$$

onde V_{hub} é a velocidade do aerogerador, V_o é a velocidade do vento na altura de referência, Z_{hub} é a altura real do aerogerador, Z_o é a altura da medição da velocidade do vento e α é o expoente da lei de potência.

A turbina utilizada nesta simulação tem como valor da área varrida pelas pás de 9331 m², valor tal, foi retirado da ficha técnica da turbina AW-109/3000 da fabricante Acciona Energy S.A [31]. Nas seguintes tabelas, Tabela 5 e Tabela 6 respetivamente, estão representados os valores para a produção eólica, em kWh, nos dias 10 de Janeiro e 1 de Agosto de 2020, após efetuados os cálculos.

Tabela 5: Energia eólica gerada em kWh, no dia 10 de Janeiro de 2020

Hora	Instalação 1	Instalação 2	Instalação 3	Instalação 4
0	0	19,29	19,29	0
1	0	21,39	21,39	0
2	0	19,29	19,29	0
3	0	23,64	23,63	0
4	0	28,58	28,58	0
5	0	28,58	28,58	0
6	0	28,58	28,58	0
7	0	28,58	28,58	0
8	0	26,03	26,03	0
9	0	26,03	26,03	0
10	0	28,58	28,58	0
11	0	58,82	58,82	0
12	0	93,13	93,13	0
13	0	99,03	99,03	0
14	0	99,03	99,03	0
15	0	82,03	82,03	0
16	0	50,70	50,70	0
17	0	28,58	28,58	0
18	0	28,58	28,58	0
19	0	43,37	43,37	0
20	0	39,99	39,99	0
21	0	33,76	33,76	0
22	0	30,90	30,90	0
23	0	28,58	28,58	0

Tabela 6: Energia eólica gerada em kWh, no dia 1 de Agosto de 2020

Hora	Instalação 1	Instalação 2	Instalação 3	Instalação 4
0	0	11,03	11,03	0
1	0	11,03	11,03	0
2	0	9,69	9,69	0
3	0	7,35	7,35	0
4	0	8,47	8,47	0
5	0	8,47	8,47	0
6	0	7,35	7,35	0
7	0	6,34	6,34	0

8	0	12,27	12,27	0
9	0	15,52	15,52	0
10	0	23,64	23,64	0
11	0	23,64	23,64	0
12	0	30,90	30,90	0
13	0	46,94	46,94	0
14	0	76,82	76,82	0
15	0	93,13	93,13	0
16	0	99,03	99,03	0
17	0	99,03	99,03	0
18	0	87,46	87,46	0
19	0	58,82	58,82	0
20	0	43,37	43,37	0
21	0	23,64	23,64	0
22	0	15,52	15,52	0
23	0	11,03	11,03	0

3.5. Filosofia de Funcionamento

3.5.1 Energia total gerada

Usando as equações (1) e (3), foram calculadas as gerações de energia solar (E_{solar}) e eólica ($E_{eólica}$) para cada instalação, tal como mostra a equação (6).

$$E_{gerada} = E_{solar} + E_{eólica} \quad (6)$$

3.5.2 Atualização da energia disponível na bateria

Para a atualização das condições de disponibilidade de energia da bateria consideraram-se duas abordagens: quando há “excesso” de energia e quando há “défice” de energia. Quando há excesso, para a energia armazenada na bateria é escolhido o menor valor entre a capacidade da bateria e a energia disponível após considerar a geração e o consumo. Isto impede que se verifiquem ordens de carregamento para além da sua capacidade.

Por outro lado, quando há défice, se a energia utilizada for maior do que a energia gerada, a bateria irá descarregar e é garantido que o valor do armazenamento da bateria nunca desça abaixo de um valor escolhido, que neste caso, foi zero.

3.5.3 Cálculo do défice/excesso de energia

Antes do início das transferências de energia, tem de ser calculado o défice ou o excesso, para cada instalação, para tal, é utilizada a equação (7).

$$X_{d/e} = E_{armazenada} + E_{gerada} - E_{utilizada} \quad (7)$$

Onde,

$X_{d/e}$ é o défice ou Excesso (kWh), a $E_{armazenada}$ é a energia armazenada na bateria (kWh), E_{gerada} é a energia gerada (kWh) e $E_{utilizada}$ é a energia utilizada (kWh);

3.5.1. Lógica subjacente às trocas de energia

Na simulação, cada instalação é avaliada para determinar se possui um excedente ou um défice de energia. Considera-se que uma instalação tem um excedente se produziu mais energia do que consome, e que tem um défice se consome mais energia do que produziu.

Primeiro, identifica-se se uma instalação, referida como "emissor", tem um excedente de energia e se outra instalação, referida como "recetor", tem um défice de energia. Apenas quando uma instalação tem energia em excesso e outra necessita de energia é que se prossegue com o processo de transferência. Determina-se a quantidade máxima de energia que pode ser transferida do emissor para o recetor. Esta quantidade é o menor de dois valores, a energia excedente do emissor multiplicada por uma percentagem máxima de transferência (50%) (para evitar a transferência de todo o excedente de uma só vez), ou o valor absoluto do défice de energia do recetor (que é a quantidade necessária para preencher o défice do recetor).

A quantidade real de energia a ser transferida é o menor valor entre a energia máxima transferível ou o défice do recetor. Isto assegura que não é transferida mais energia do que a necessária para cobrir o défice do recetor. A quantidade calculada de energia a transferir é então registada na matriz de transferência de energia. Esta matriz mantém um registo de todas as transferências de energia entre as instalações a cada hora.

A energia armazenada do emissor é subtraída pela quantidade de energia transferida, e a energia armazenada do recetor é somada pela mesma quantidade como se pode observar nas equações (8) e (9). Isto reflete a transferência física de energia de uma instalação para outra.

$$E_{armazenada}(E) = E_{armazenada}(E) - E_{transferida} \quad (8)$$

$$E_{armazenada}(R) = E_{armazenada}(R) + E_{transferida} \quad (9)$$

Após a transferência, atualiza-se o excedente ou déficit (equações 10 e 11) tanto do emissor quanto do recetor para refletir os novos níveis de energia armazenada.

$$X_{d/e} (emissor) = X_{d/e} (emissor) - E_{transferida} \quad (10)$$

$$X_{d/e} (recetor) = X_{d/e} (recetor) + E_{transferida} \quad (11)$$

Onde,

$X_{d/e} (emissor)$ é o déficit ou excesso do emissor (kWh) e $X_{d/e} (recetor)$ o déficit ou excesso do recetor (kWh)

Esta parte da lógica de funcionamento assegura que a energia é distribuída de forma responsável das instalações que têm mais do que necessitam para aquelas que têm necessidade, aderindo a uma política que impede a transferência de demasiada energia de uma só vez, promovendo assim a estabilidade de todo o sistema de gestão de energia.

3.5.5 Distribuição do excesso de energia

Primeiramente, verifica-se se a bateria de uma instalação está totalmente carregada, comparando a sua energia armazenada com a capacidade da bateria. Considera-se que uma bateria está totalmente carregada se a energia armazenada for igual à capacidade da bateria da instalação.

Se a bateria de uma instalação estiver de facto totalmente carregada, calcula-se a energia excedente disponível para transferência. Esta energia excedente é a energia total gerada a partir de fontes solares e eólicas na instalação, menos a energia que a instalação consumiu, como podemos ver na equação (12). $E_{excesso}$ representa a energia que pode potencialmente ser partilhada com outras instalações.

$$E_{excesso} = E_{solar} + E_{eólica} - E_{utilizada} \quad (12)$$

O programa de simulação verifica então todas as outras instalações para identificar quais podem receber a energia excedente. Uma instalação alvo é elegível se não for a mesma que tem o excedente de energia e se a sua bateria não estiver já cheia.

Para cada instalação alvo elegível, calcula-se a capacidade de armazenamento disponível na sua bateria. Esta capacidade disponível ($C_{disponivel}$) é a diferença entre a capacidade nominal da

bateria da instalação (C_{bateria}) alvo e a sua energia atualmente armazenada como se pode observar na equação (13).

$$C_{\text{disponível}} = C_{\text{bateria}} - E_{\text{armazenada}} \quad (13)$$

Onde,

$C_{\text{disponível}}$ é a Capacidade disponível da bateria (kWh) e C_{bateria} a capacidade nominal da bateria (kWh);

A quantidade calculada de energia transferível é então fisicamente transferida. A transferência de energia é registada, documentando quanto de energia foi transferida da instalação emissora para a instalação alvo durante a hora específica.

Após cada transferência, a quantidade de energia excedente é atualizada para refletir a nova quantidade reduzida após a transferência. Se não houver energia excedente restante (ou seja, se a energia excedente for zero), o processo é interrompido, pois não há mais energia disponível para distribuir. Este processo é repetido para cada instalação alvo até que não haja mais energia excedente para distribuir ou todas as instalações elegíveis tenham sido consideradas.

Assim é garantido que a energia é eficientemente redistribuída das instalações com baterias totalmente carregadas para aquelas com capacidade para armazenar mais energia. Isto ajuda a otimizar o uso da energia renovável gerada e a reduzir a necessidade de recorrer à rede ou desperdiçar o potencial de geração de energia.

3.5.6 Apoio da rede elétrica

Após o cálculo da energia gerada pelas fontes solares e eólicas e da energia disponível na bateria da instalação, o que representa a energia disponível para a instalação, após considerar as transferências de energia recentes, compara-se o consumo de energia da instalação nessa hora com a energia total disponível após as transferências. Se o consumo exceder a energia disponível, existe a necessidade de recorrer ao fornecimento de energia a partir da rede elétrica.

Se uma instalação necessitar de mais energia do que a disponível, o défice é calculado subtraindo a energia total disponível da energia consumida. Este défice é a quantidade de energia que precisará de ser obtida da rede para satisfazer as necessidades da instalação. Se não for necessária energia adicional, porque o consumo da instalação é igual ou inferior à energia disponível, então a energia necessária da rede é definida como zero para essa hora. Desta maneira, é garantido que cada instalação tenha energia suficiente para satisfazer as suas necessidades de consumo, obtendo energia adicional da rede, se necessário. Este passo é crucial para manter um equilíbrio entre oferta e procura no sistema energético e garantir que as instalações operem sem interrupções.

4. Análise de Resultados obtidos da Simulação

4.1 Análise de Resultados

Depois de executada a simulação obtiveram-se os valores que se organizaram numa série de gráficos. Foram gerados no MATLAB, gráficos para o estado de carga da bateria (SOC), para a energia gerada, para a energia enviada/recebida por cada instalação. Para o dia 10 de Janeiro de 2020 foram gerados os seguintes gráficos das Figuras 17 a 45.

Na figura 17, o gráfico mostra uma diminuição acentuada na disponibilidade da bateria logo no início, devido a um consumo inicial elevado.

A recuperação rápida e o pico subsequente indicam um período de alta geração de energia solar, que é armazenada rapidamente.

A segunda metade do gráfico mostra uma diminuição gradual, o que é típico quando a geração de energia solar diminui ao final do dia e a energia armazenada começa a ser consumida ou transferida.

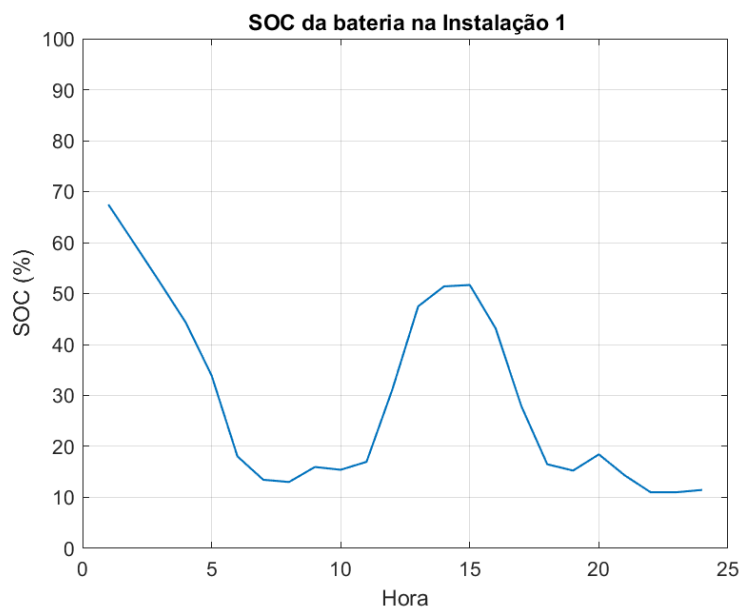


Figura 17: Estado de carga da bateria na instalação 1 no dia 10 de Janeiro de 2020

O estado de carga da bateria começa relativamente estável (Figura 18), com uma queda acentuada e uma recuperação igualmente acentuada, o que indica um evento de consumo ou uma transferência de energia seguido por uma geração de energia para recuperar o perdido. A variação ao longo do dia aponta para que a instalação esteja a equilibrar o uso de energia gerada com a energia enviada para outras instalações.

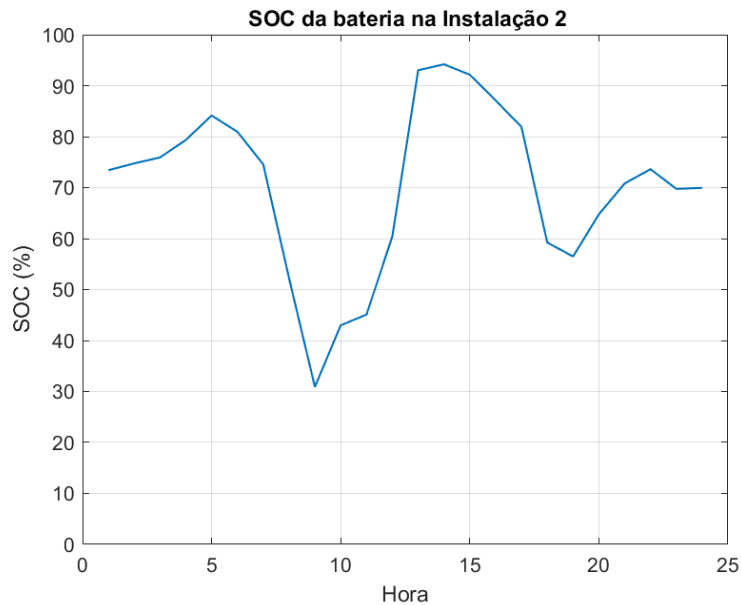


Figura 18: Estado de carga da bateria da instalação 2 no dia 10 de Janeiro de 2020

Depois do uso da energia armazenada na bateria no dia anterior, pode-se observar na Figura 19 que o nível da bateria desta instalação sobe de forma constante, atinge um pico e depois mostra uma queda substancial a meio do dia, o que pode ser uma indicação de consumo elevado ou transferência de energia para outras instalações neste período.

A recuperação e estabilização no final do dia sugerem um aumento na geração de energia e possivelmente também uma diminuição no consumo.

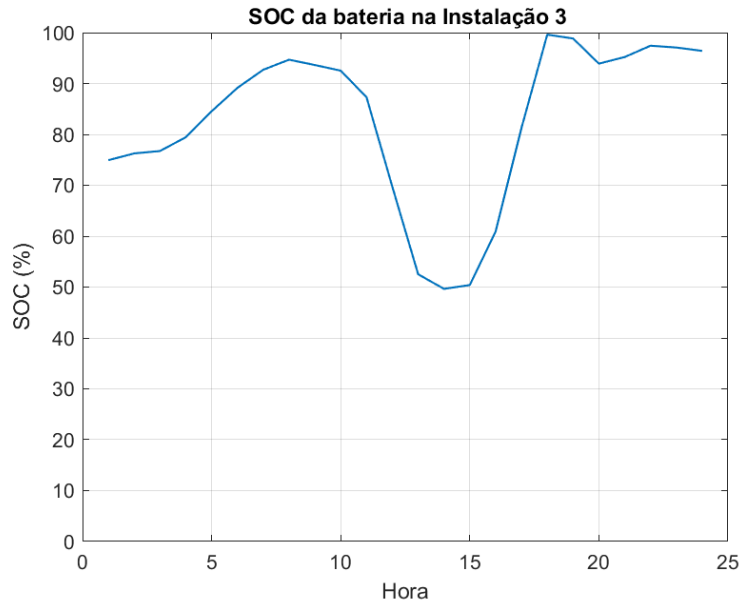


Figura 19: Estado de carga da bateria na instalação 3 no dia 10 de Janeiro de 2020

O gráfico representado na Figura 20 inicia com uma queda acentuada na disponibilidade da bateria, indicando um uso significativo da energia armazenada.

O resto do gráfico mostra níveis relativamente estáveis de energia, com ligeiras variações que refletem padrões de consumo consistentes.

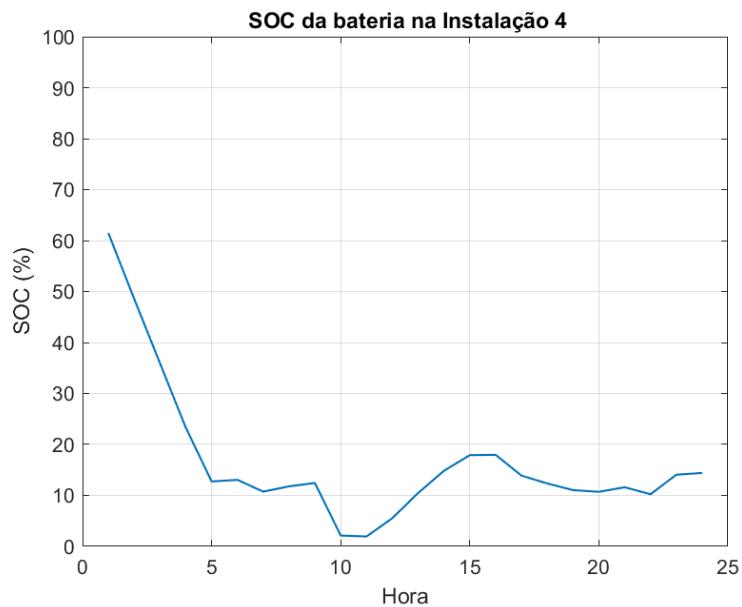


Figura 20: Estado de carga da bateria na instalação 4 no dia 10 de Janeiro de 2020

É mostrado na Figura 21 uma queda acentuada e contínua na disponibilidade da bateria, estabilizando num nível baixo durante a maior parte do dia.

O andamento da característica após a queda inicial de disponibilidade de energia deve-se ao facto de que esta instalação está apenas a consumir energia de maneira constante sem geração própria e, por consequência, a receber pouca energia de outras instalações.

Todas as instalações mostram algum grau de variação na disponibilidade da bateria, o que é esperado num sistema dinâmico de energia onde a geração, o consumo e a transferência de energia estão constantemente a variar.

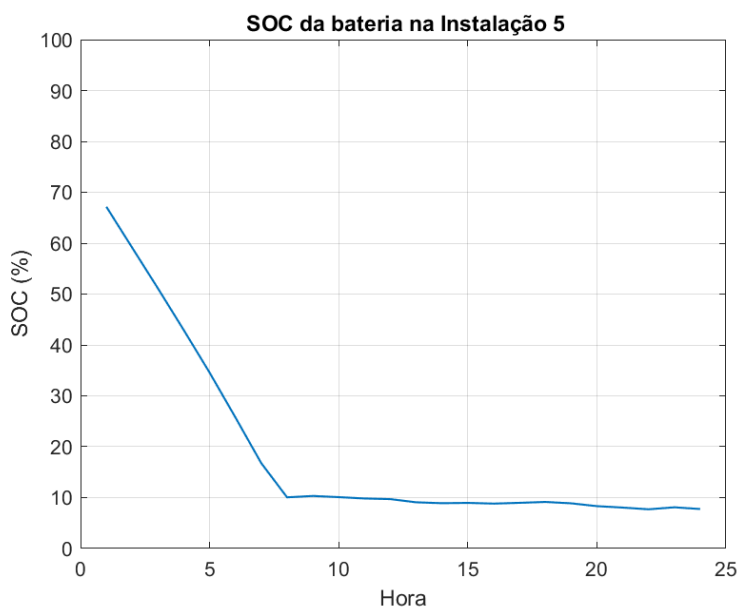


Figura 21: Estado de carga da bateria na instalação 5 no dia 10 de Janeiro de 2020

A geração de energia representada na Figura 22 varia a partir do zero, o que se alinha com o padrão esperado da energia solar — ausência de geração durante a noite e início de produção com o nascer do sol.

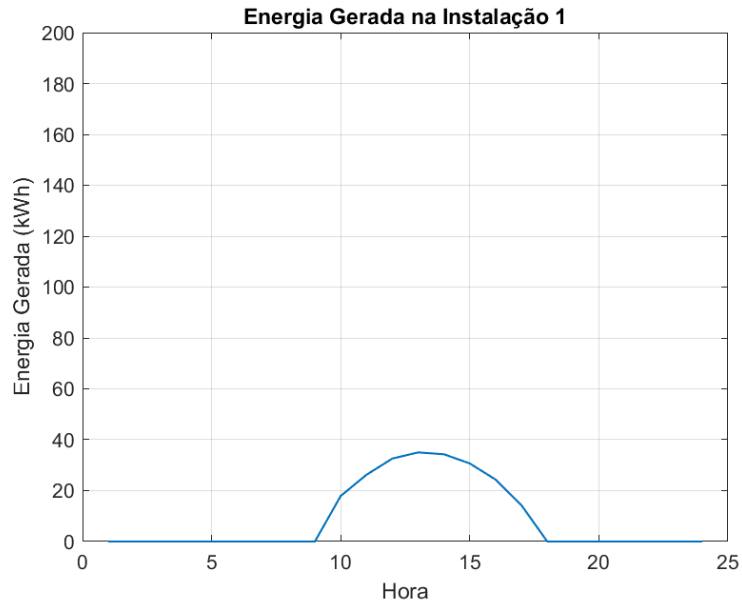


Figura 22: Energia gerada pela instalação 1 no dia 10 de Janeiro de 2020

Na Figura 23 pode observar-se que a instalação 2 exibe uma geração de energia com flutuações ao longo das 24 horas, exceto nos períodos onde os valores da velocidade do vento aumentam significativamente. A geração de energia é constante pois pode ser gerada tanto de dia quanto de noite devido ao facto de, neste caso, ter havido condições de vento para tal acontecer. As pequenas flutuações na geração de energia refletem as variabilidades das velocidades do vento ao longo do dia.

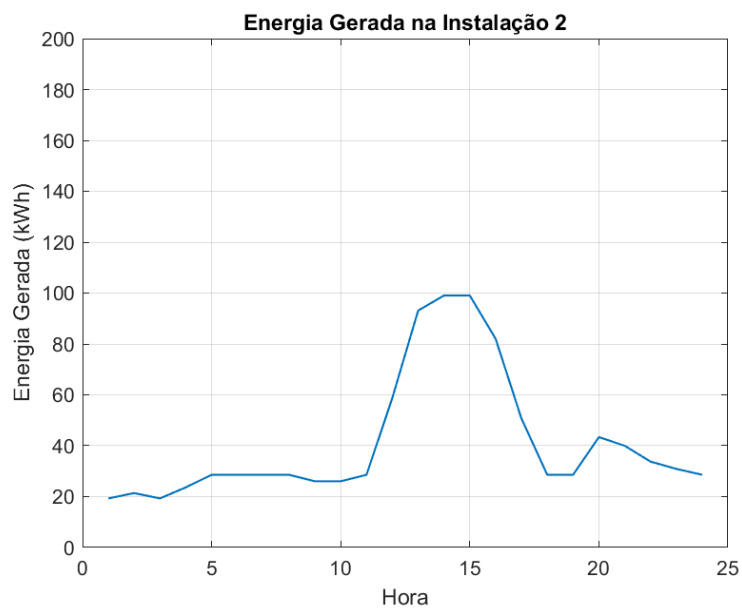


Figura 23: Energia gerada pela instalação 2 no dia 10 de Janeiro de 2020

De forma semelhante à instalação 2, a instalação 3 (Figura 24) apresenta uma geração consistente, onde, neste caso, a componente solar é importante, daí a produção atingir maiores valores que a instalação 2.

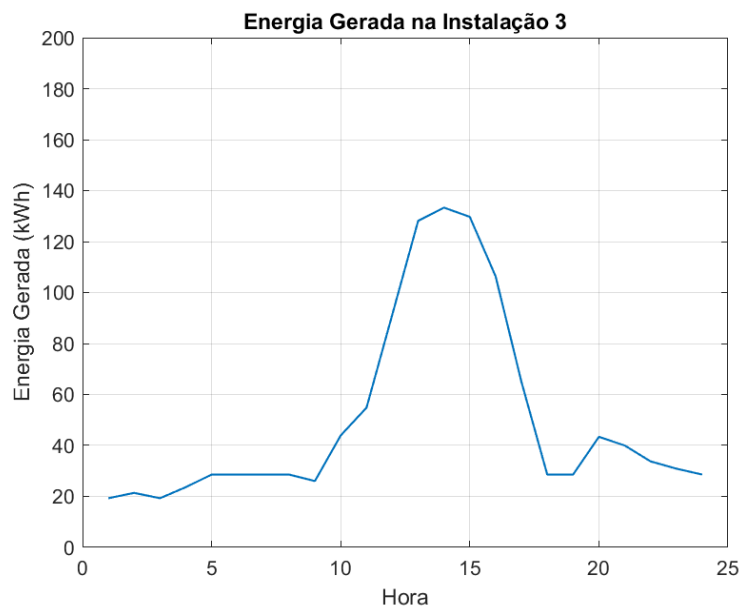


Figura 24: Energia gerada pela instalação 3 no dia 10 de Janeiro de 2020

O perfil de geração de energia da instalação 4 é semelhante ao da instalação 1, reforçando a premissa de que é alimentada primariamente por energia solar, com nenhuma geração noturna e variação de produção durante o período diurno como se pode observar na Figura 25.

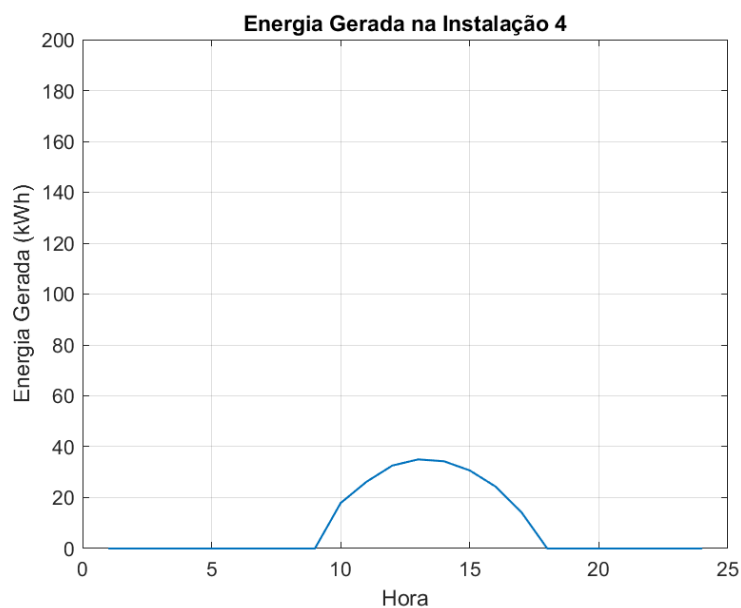


Figura 25: Energia gerada pela instalação 4 no dia 10 de Janeiro de 2020

Por fim, na figura 26, conforme esperado, mostra-se a inexistência de geração, já que a instalação 5 é apenas consumidora.

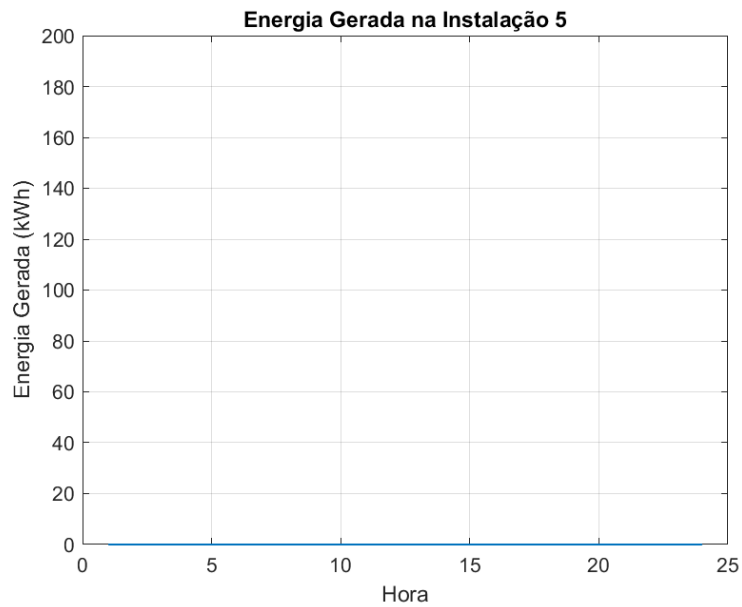


Figura 26: Energia gerada pela instalação 5 no dia 10 de Janeiro de 2020

A instalação 1 aparenta ter um estado de carga da bateria consistente de receber energia de outras instalações, como se pode observar na Figura 27, com picos notáveis da sua necessidade durante o dia.

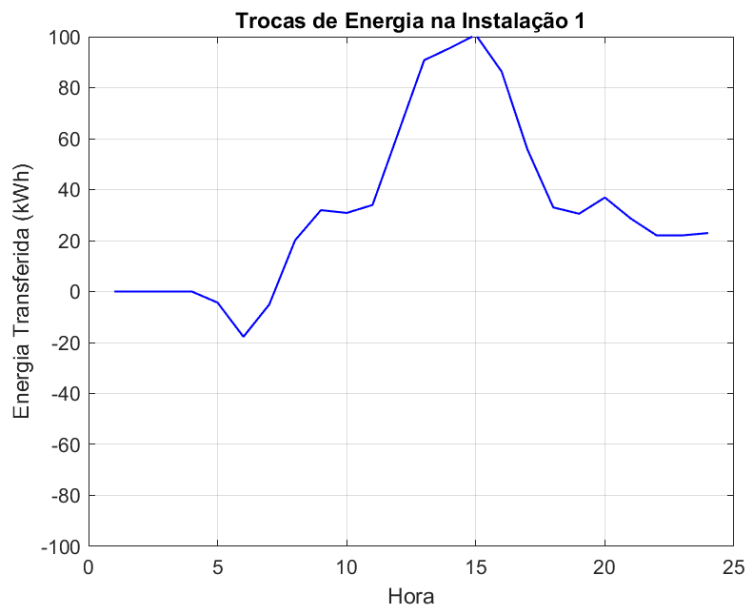


Figura 27: Energia transferida pela instalação 1 no dia 10 de Janeiro de 2020

A figura 28 mostra que a instalação 2 foi importante para a manutenção do funcionamento das outras instalações. Houve uma variação significativa com um pico negativo acentuado. O pico negativo indica um período em que a instalação partilhou uma grande quantidade de energia, devido a uma geração elevada.

As flutuações ao longo do dia devem-se ao constante apoio às outras instalações.

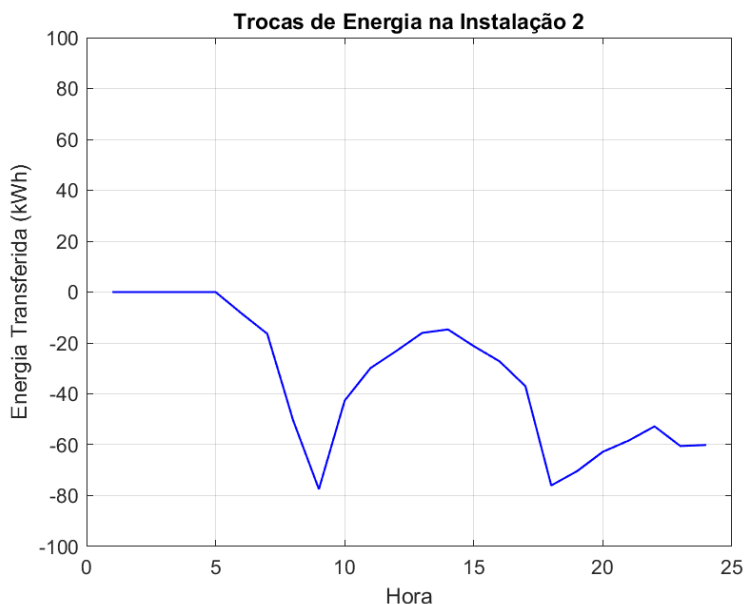


Figura 28: Energia transferida pela instalação 2 no dia 10 de Janeiro de 2020

Como se pode observar na Figura 29, a instalação 3 apresenta um pico proeminente na energia fornecida, o que indica um evento de geração de energia significativo que começa por volta das 11 horas, daí a possibilidade de fornecimento de tamanha quantidade de energia. Aconteceu também que, devido ao excesso de produção, além de auxiliar as outras instalações, usou-as também para armazenar o excesso de produção.

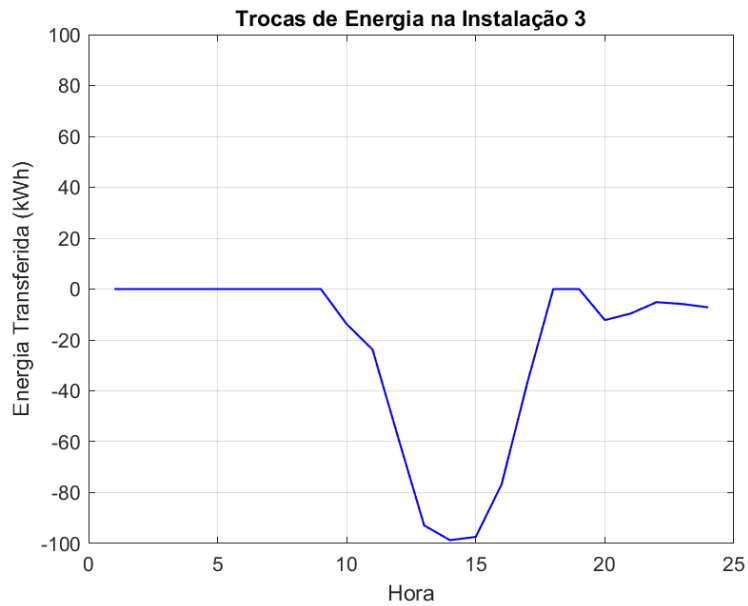


Figura 29: Energia transferida pela instalação 3 no dia 10 de Janeiro de 2020

Observa-se que a instalação 4 tem um perfil de recepção de energia relativamente estável com variações moderadas ao longo do dia.

Com base na Figura 30, vê-se que há uma tendência de energia a ser transferida para a instalação, indicando que em determinadas horas do dia esta instalação não gera energia suficiente. Durante as horas ao meio do dia, há uma ligeira diminuição na energia recebida, possivelmente devido ao aumento da geração própria, visto ser dependente da produção solar.

Ao longo do dia, a energia recebida nunca atinge valores negativos significativos, o que sugere que a instalação 4 não precisa de receber grandes quantidades de energia de outras instalações.

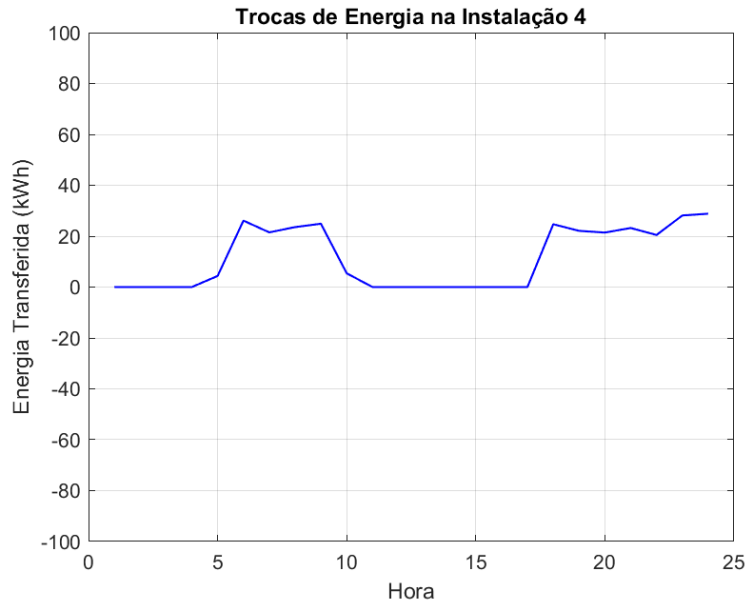


Figura 30: Energia enviada pela instalação 4 no dia 10 de Janeiro de 2020

A Instalação 5 representada na Figura 31 mostra um perfil quase constante de energia recebida, com valores ligeiramente positivos, indicando que a instalação está consistentemente a receber já que é uma instalação que apenas consome energia.

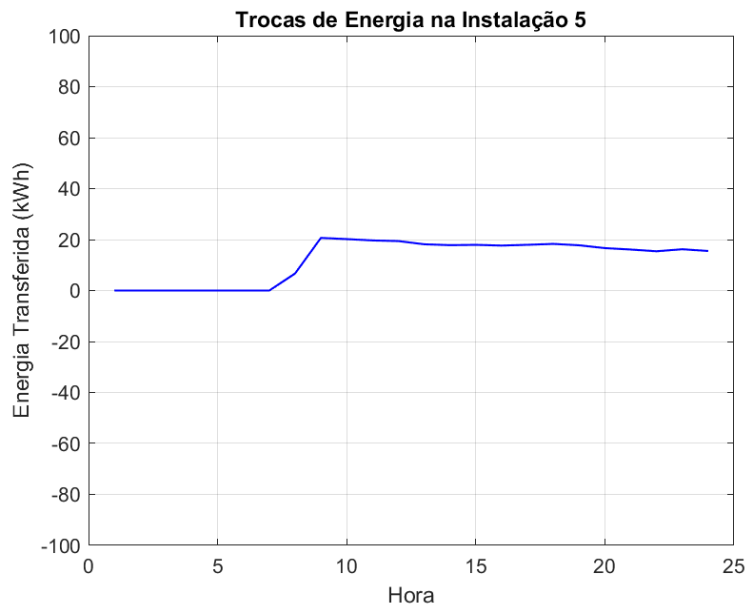


Figura 31: Energia transferida pela instalação 5 no dia 10 de Janeiro de 2020

A bateria da instalação 1, começa com um elevado estado de carga da bateria visto ainda ter energia do dia anterior, decrescendo rapidamente nas primeiras horas, devido ao consumo elevado da instalação e transferência de energia para outras instalações. Observando a Figura 32 na hora 13 vê-se que há um pico significativo, refletindo uma elevada geração solar.

A disponibilidade da bateria diminui novamente após o pico, para auxiliar o consumo da própria instalação.

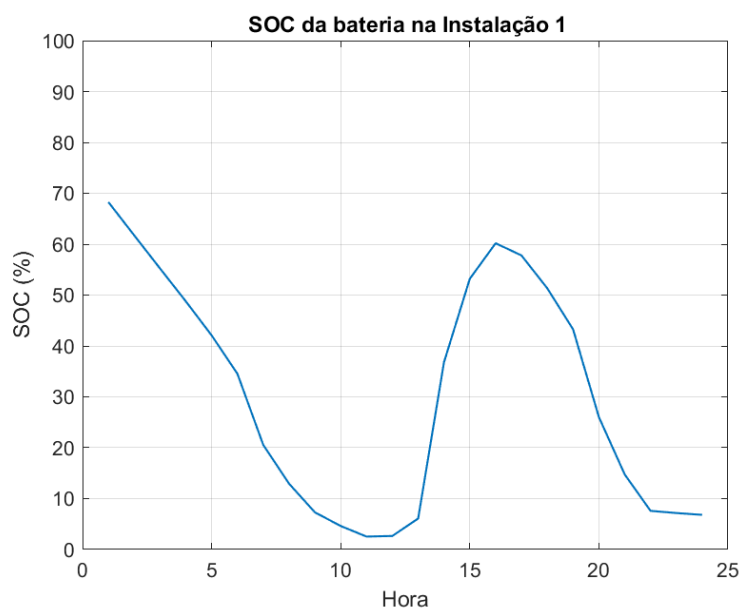


Figura 32: Estado de carga da bateria na instalação 1 no dia 1 de Agosto de 2020

Ao longo do dia são exibidos níveis de armazenamento flutuantes na instalação 2, como podemos ver na Figura 33, o estado de carga da bateria da bateria tem uma queda profunda nas primeiras horas, seguida de uma recuperação acentuada, onde ocorreu uma transferência de energia de outras instalações e onde começou também a geração própria.

A capacidade de fornecer energia mantém-se relativamente estável para o fim do dia com algumas flutuações, como o decréscimo nas últimas horas para auxiliar as outras instalações.

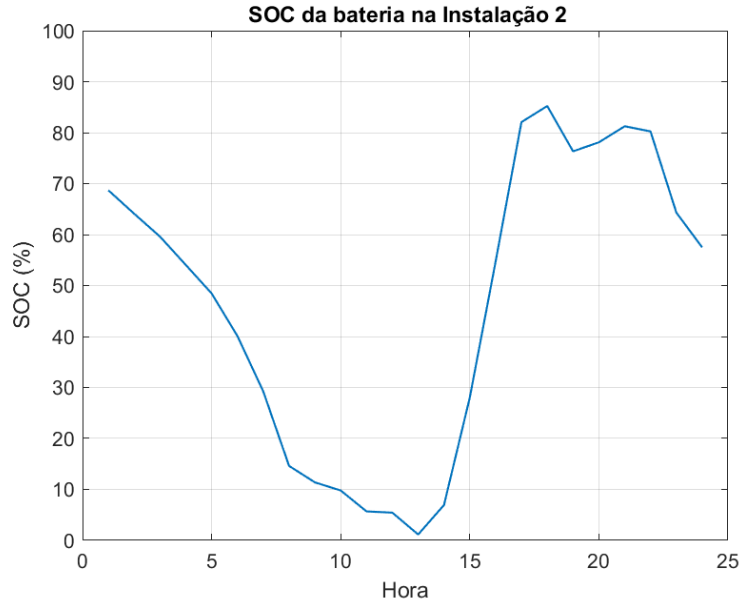


Figura 33: Estado de carga da bateria na instalação 2 no dia 1 de Agosto de 2020

Observando a Figura 34, existe uma recuperação da disponibilidade da bateria a começar pelas 10 horas, devido à geração de energia solar e eólica. Esta instalação, como apresenta tanto produção eólica como solar, serve de fonte primária para auxiliar as outras instalações, daí os picos energéticos no gráfico. Apresenta uma ligeira queda no final do dia, mas sempre a sugerir uma gestão equilibrada entre geração, consumo e transferência.

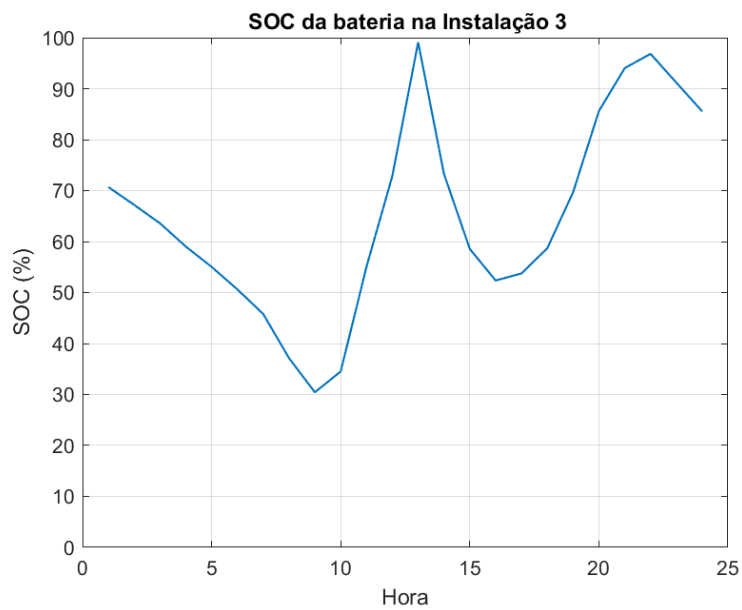


Figura 34: Estado de carga da bateria na instalação 3 no dia 1 de Agosto de 2020

A Figura 35 exibe um padrão de disponibilidade da bateria semelhante à da instalação 1, com uma descida significativa seguida de uma subida gradual, alinhada com a geração solar durante o dia. O declínio a partir do meio da tarde indica uma utilização da energia armazenada e uma geração solar decrescente.

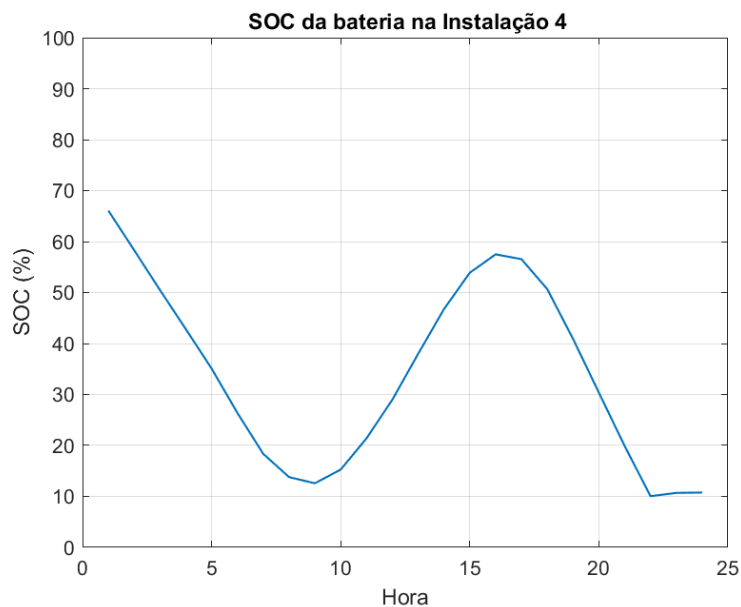


Figura 35: Estado de carga da bateria na instalação 4 no dia 1 de Agosto de 2020

A instalação 5 (Figura 36) mantém um nível baixo e estável de armazenamento de energia, o que é esperado, visto que só consome energia. A maior flutuação indica que houve transferência de energia de outras instalações para esta armazenar e utilizar quando tivesse déficit de energia.

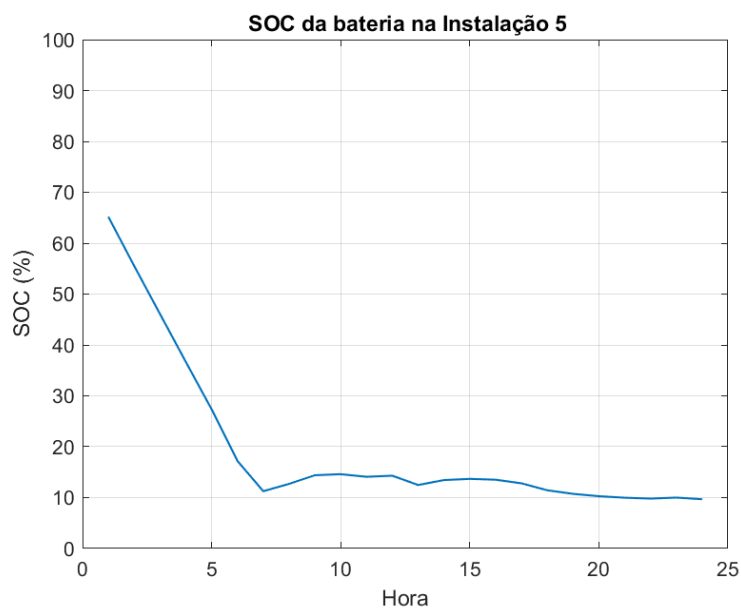


Figura 36: Estado de carga da bateria na instalação 5 no dia 1 de Agosto de 2020

Todas as instalações, especialmente as Instalação 1, 3 e 4, exibem uma maior geração de energia no dia e Agosto considerado, quando comparada com o dia de Janeiro. Isso é consistente com o aumento das horas de luz diurna e maior irradiância solar durante o verão. O dia 1 de Agosto teve também valores da velocidade do vento muito favoráveis, o que permitiu uma maior produção a nível eólico.

Na Figura 37 pode observar-se uma geração de energia significativa devido ao aumento da irradiância solar em comparação com Janeiro. A instalação 1 está a utilizar de maneira eficaz um maior potencial solar.

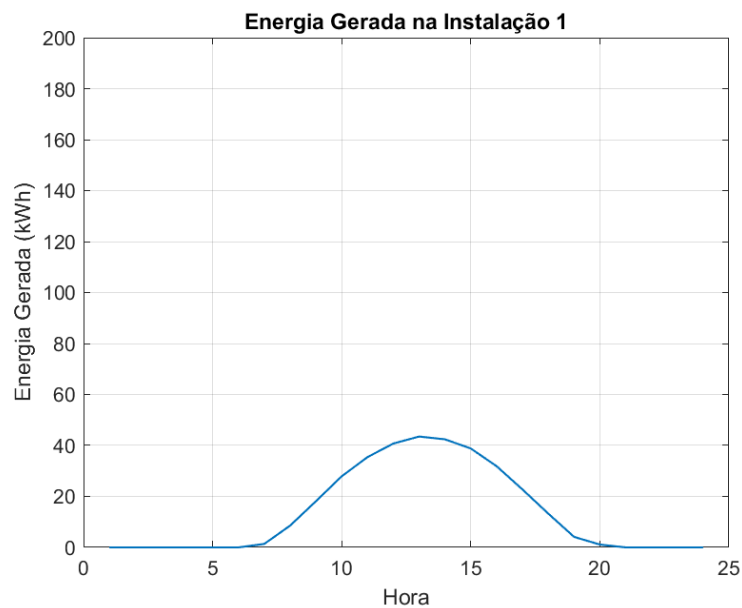


Figura 37: Energia gerada pela instalação 1 no dia 1 de Agosto de 2020

A instalação 2 apresenta também uma maior geração de energia, como podemos ver na Figura 38, maior geração esta atribuída a ventos mais fortes neste dia de verão. A geração consistente ao longo das horas sugere boas condições eólicas durante todo o dia com maior produção a partir do meio do dia.

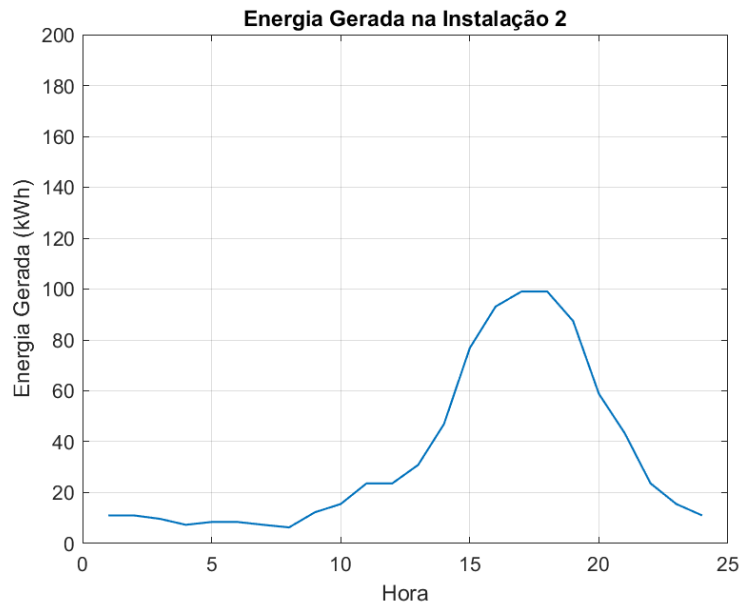


Figura 38: Energia gerada pela instalação 2 no dia 1 de Agosto de 2020

Esta instalação possui os maiores números de geração de energia, beneficiando-se tanto da alta irradiância solar quanto do aumento das velocidades do vento, como se pode verificar na Figura 39. Tudo isto indica que as fontes duplas de energia se complementam bem, particularmente no verão.

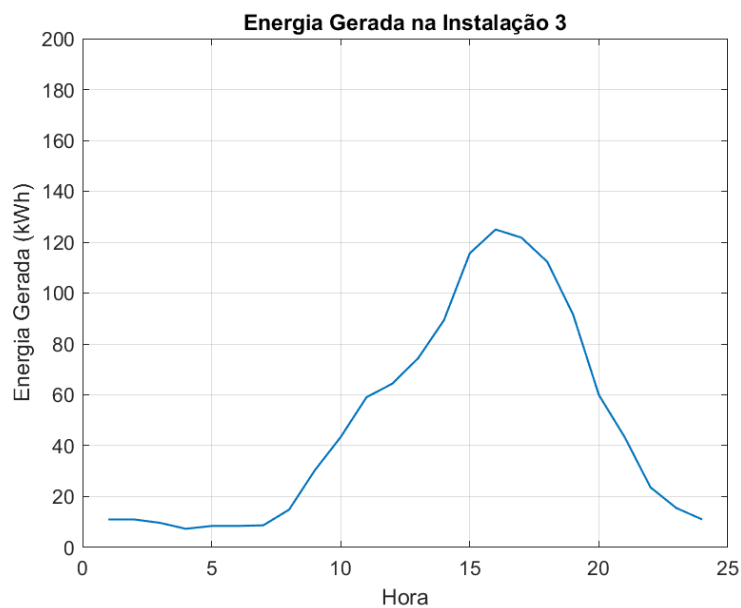


Figura 39: Energia gerada pela instalação 3 no dia 1 de Agosto de 2020

Semelhante à instalação 1, há um aumento na geração de energia na instalação 4, novamente devido à maior irradiância solar, como se pode observar na Figura 40.

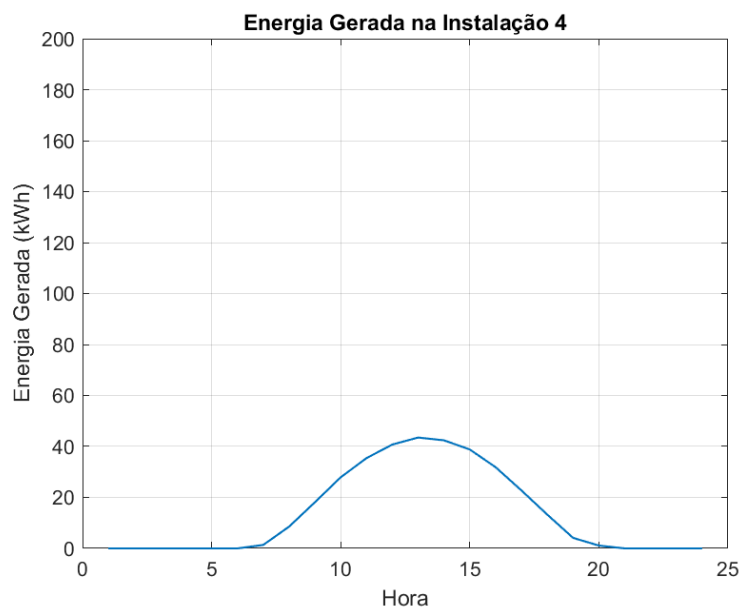


Figura 40: Energia gerada pela instalação 4 no dia 1 de Agosto de 2020

Analisando a Figura 41, vê-se que há um aumento de energia recebida durante a manhã. Exibe um pico substancial de energia transferida ao meio-dia, onde houve uma geração solar significativa que excede o seu consumo. A partir daí, a instalação começa a enviar menos energia e a receber mais, devido à diminuição da geração solar à medida que o dia avança.

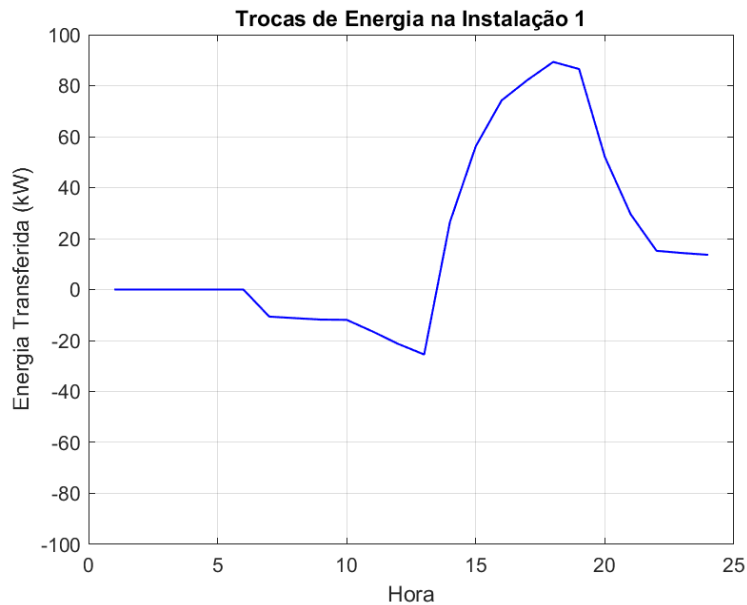


Figura 41: Energia transferida pela instalação 1 no dia 1 de Agosto de 2020

A Figura 42 mostra uma troca de energia bastante variável, com momentos de energia recebida e enviada, ou seja, uma combinação de produção e consumo equilibrados e ajustes na gestão de energia com outras instalações.

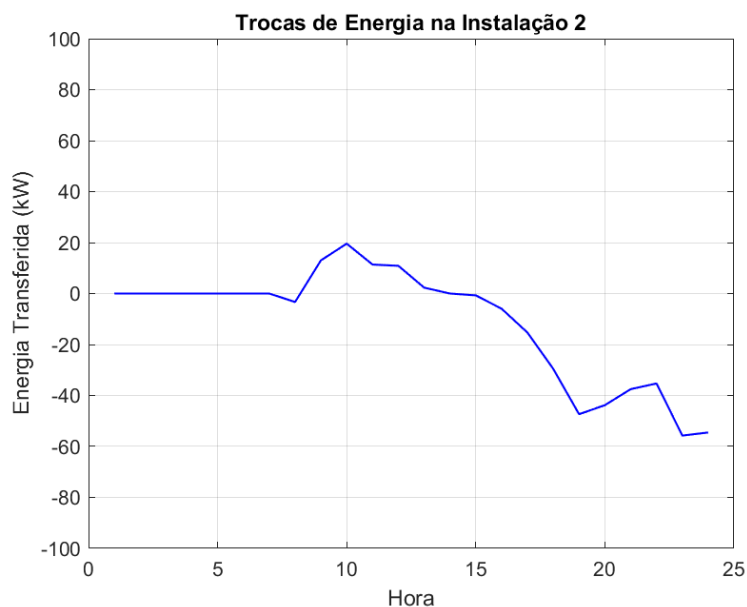


Figura 42: Energia transferida pela instalação 2 no dia 1 de Agosto de 2020

A Figura 43 demonstra que a instalação 3 tem um perfil de troca de energia com um padrão semelhante ao da instalação 2, mas com um pico acentuado de energia enviada ao meio do dia. Este pico sugere um considerável envio de energia, devido à transferência para outras instalações.

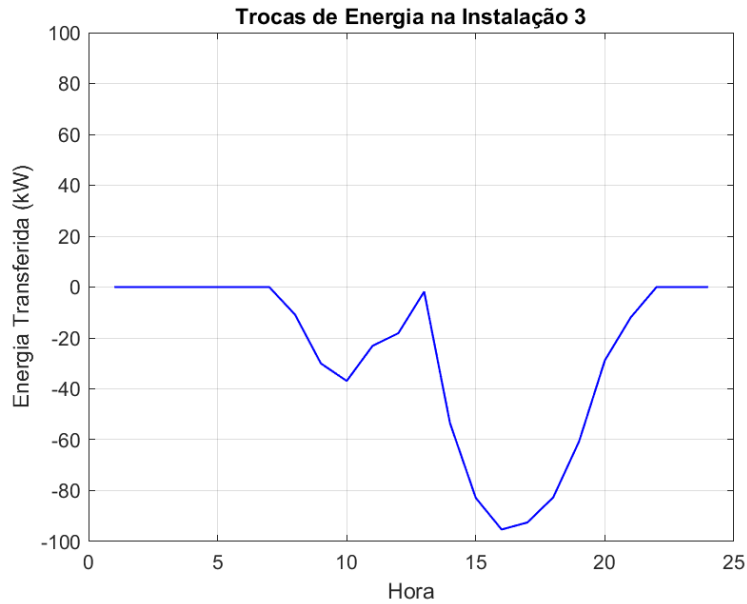


Figura 43: Energia transferida pela instalação 3 no dia 1 de Agosto de 2020

Pela análise da Figura 44, vê-se um perfil de transferência de energia relativamente estável com pequenas quantidades de energia recebida ao fim do dia, devido à necessidade para consumo e também armazenamento para o dia seguinte.

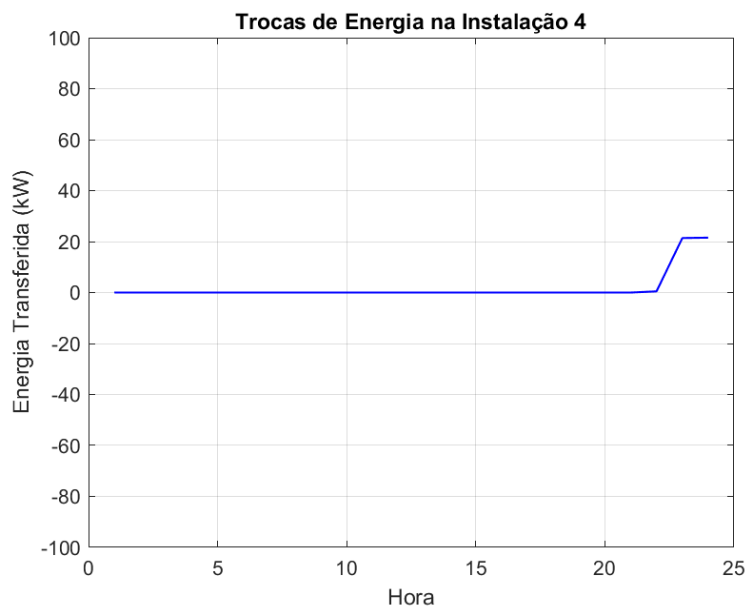


Figura 44: Energia transferida pela instalação 4 no dia 1 de Agosto de 2020

Mais uma vez, podemos ver na Figura 45, que se mantém um nível quase constante de energia recebida ao longo do dia, com valores baixos, o que é consistente com uma instalação que consome energia de forma regular.

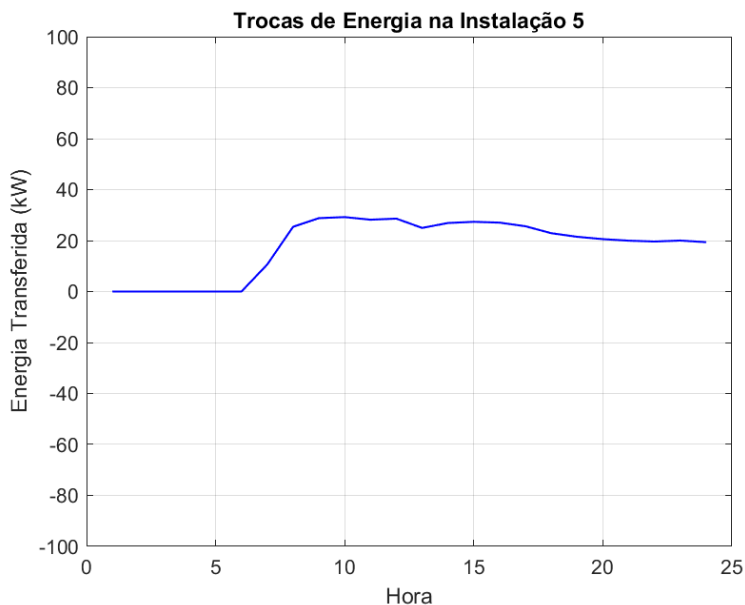


Figura 45: Energia transferida pela instalação 5 no dia 1 de Agosto de 2020

A presente análise dos dados de geração, armazenamento e troca de energia entre as várias instalações fornece um panorama detalhado sobre a eficácia do sistema de gestão de energia implementado.

1. A instalação 1, equipada com energia solar, demonstrou um desempenho adequado às expectativas de um perfil de geração solar, com picos de geração e transferência de energia coincidindo com os períodos de máxima irradiação solar. Isso reflete uma gestão eficiente do excesso de energia gerada, que é conseqüentemente transferida ou armazenada para uso posterior.
2. A instalação 2 exibiu um padrão de trocas de energia variável, consistente com a natureza imprevisível da energia eólica. A geração de energia desta instalação é claramente influenciada pelas flutuações do vento.
3. A instalação 3 beneficia da combinação de geração eólica e solar, como evidenciado pelos níveis mais estáveis de energia armazenada e pelos picos de energia transferida, sugerindo uma sinergia entre as duas fontes de energia que proporciona uma maior estabilidade na geração.

4. A instalação 4, semelhante à Instalação 1, demonstra um perfil de geração e transferência de energia alinhado com a geração solar, apresentando a necessidade de estratégias de armazenamento ou transferência para os períodos após o pico de geração solar.
5. A instalação 5, caracterizada como um consumidor de energia, manteve um padrão constante de recebimento de energia, alinhado com as expectativas de um perfil de consumo estável.

A capacidade de cada instalação em gerar, armazenar e transferir energia não apenas atende às suas necessidades individuais, mas também contribui para a sustentabilidade e eficiência do sistema como um todo.

A estratégia desenvolvida apresenta uma abordagem para a gestão de um sistema de energia renovável. A inclusão de várias fontes de energia (solar e eólica) e a gestão de armazenamento de energia através de baterias refletem uma compreensão profunda dos desafios atuais no campo das energias renováveis. A implementação de um sistema de transferência de energia entre as instalações é uma estratégia inovadora que promove a eficiência na distribuição de energia e equilíbrio da rede.

Os resultados obtidos refletem o sucesso da estratégia em simular a operação de um sistema de energia renovável. Observa-se a eficácia na gestão de armazenamento e transferência de energia entre as instalações, indicando uma rede bem equilibrada. A capacidade do sistema de manter as reservas de bateria acima dos limites mínimos estabelecidos ao longo de todas as horas do dia demonstra a eficiência do algoritmo de gestão de energia. A simulação indica um bom nível de autossuficiência das instalações, com nenhum uso da rede elétrica. As baterias nas instalações são bem geridas, com a maioria delas a manter um nível de carga adequado e evitando descargas completas.

A combinação de energia solar e eólica proporciona uma fonte diversificada, o que é benéfico para a estabilidade do sistema. As transferências entre instalações ajudam a equilibrar o sistema, especialmente durante as horas de pico. Isso demonstra um uso eficiente dos recursos energéticos gerados. Podemos observar que no dia de Inverno a geração de energia foi inferior à do dia de verão, como era de esperar.

4.2 Trabalhos futuros

Considerando este trabalho centrado na gestão eficiente de energia a partir de fontes renováveis e na análise de dados ambientais para otimização de sistemas de energia, os projetos futuros poderiam ser vários. Poderiam incluir a criação de modelos de simulação mais sofisticados que incorporem inteligência artificial e “machine learning” para prever padrões de consumo e produção energética e para fazer ajustes em tempo real em sistemas de energia, poderia ser estudada a expansão do conceito de comunidades de energia para promover a autossuficiência energética, permitindo que bairros ou regiões pequenas gerenciem sua própria produção e consumo de energia de forma sustentável. Noutra vertente, poderiam ser utilizados sistemas de “IoT” (Internet das Coisas) onde, no meu ponto de vista poderia ser uma das áreas mais promissoras, isto porque os dispositivos IoT podem ser utilizados para monitorizar e gerir remotamente a produção e o consumo de energia em tempo real, o que permite ajustes imediatos para otimizar a eficiência energética. Podem ser implementados em equipamentos de energia renovável, como painéis solares e turbinas eólicas, e também em baterias. Nos equipamentos de energia renovável para prever e prevenir falhas antes que elas ocorram, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a produtividade, e nas baterias para otimizar a gestão de carga e armazenamento de energia, promovendo um balanço entre a oferta e a procura e assim aumentar a eficiência dos sistemas de baterias. Poderia até ser explorado o uso da tecnologia “blockchain” em conjunto com IoT para criar mercados de energia descentralizados, permitindo transações seguras e transparentes de energia entre produtores e consumidores.

5. Conclusão

O sistema simulado demonstra uma abordagem robusta e eficiente para a gestão de energia num cenário com várias fontes de geração e armazenamento. A capacidade de transferir energia entre instalações e a integração com a rede elétrica fornecem uma rede de segurança essencial, garantindo que a demanda de energia seja sempre atendida. Este trabalho abordou a complexa gestão de energia em múltiplas instalações com diferentes fontes de geração de energia, incluindo solar e eólica, complementadas com sistemas de armazenamento de energia em baterias. Através de um modelo de simulação desenvolvido em MATLAB, foi analisado o comportamento dinâmico do sistema ao longo de um período de 24 horas, considerando a geração, o consumo e a transferência de energia entre as instalações.

Os resultados obtidos realçam a importância de uma gestão eficaz do armazenamento de energia, evidenciando que a capacidade das baterias e a sua eficiência são determinantes para garantir a estabilidade e a autossuficiência de cada instalação. Observou-se que instalações com uma maior capacidade de bateria e geração de energia conseguem não só atender as suas necessidades como também apoiar outras instalações, contribuindo para a resiliência do sistema como um todo.

As transferências de energia entre instalações mostraram-se cruciais em momentos de défice energético. A implementação de um algoritmo de transferência de energia otimizado permitiu maximizar o uso de energia renovável gerada e minimizar a dependência de fontes externas, como a rede elétrica.

Este estudo destaca ainda o potencial da integração de fontes de energia renováveis e a necessidade de uma análise minuciosa para cada cenário, adaptando as estratégias de gestão de energia às condições específicas de cada instalação.

Os modelos e simulações desenvolvidos ajudam a entender melhor as dinâmicas de produção, armazenamento e partilha de energia dentro de uma comunidade. Além disso mostraram-se essenciais na identificação de estratégias ótimas para a gestão de energia e na promoção da interação eficaz entre os membros da comunidade, elementos essenciais para o sucesso das comunidades de energia renovável.

O equilíbrio entre geração, consumo e armazenamento é a chave para um sistema energético eficiente e sustentável. As conclusões deste trabalho enfatizam a relevância de adaptar as soluções energéticas às características individuais de cada instalação e à variabilidade inerente às fontes de energia renováveis.

Este sistema de gestão evidencia-se como potenciador da implementação e do bom funcionamento de comunidades de energia renovável, garantindo uma rede robusta e resiliente que maximiza o uso de recursos locais e fortalece a independência energética.

6. Bibliografia

- [1] “Modelação de Comunidades Locais de Energia Renovável,” 2022, [Online]. Available: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/22133/1/DM_JoaoCosta_2022_MEEC.pdf
- [2] C. Silva, P. Faria, A. Fernandes, and Z. Vale, “Clustering distributed Energy Storage units for the aggregation of optimized local solar energy,” *Energy Reports*, vol. 8, no. June, pp. 405–410, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.01.043.
- [3] D. de São José, P. Faria, and Z. Vale, “Smart energy community: A systematic review with metanalysis,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 36, 2021, doi: 10.1016/j.esr.2021.100678.
- [4] J. Kennedy, P. Ciufu, and A. Agalgaonkar, “Intelligent load management in microgrids,” *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–8, 2012, doi: 10.1109/PESGM.2012.6345729.
- [5] B. Canizes, V. Silveira, and Z. Vale, “Demand response and dispatchable generation as ancillary services to support the low voltage distribution network operation,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 7–15, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.01.040.
- [6] R. Barreto, C. Gonçalves, L. Gomes, P. Faria, and Z. Vale, “Evaluation Metrics to Assess the Most Suitable Energy Community End-Users to Participate in Demand Response,” *Energies*, vol. 15, no. 7, 2022, doi: 10.3390/en15072380.
- [7] Governo Constitucional, “Programa do XXIII,” pp. 1–181, 2022, [Online]. Available: <https://www.portugal.gov.pt/gc23/programa-do-governo-xviii/programa-do-governo-xviii-pdf.aspx?v=«mlkvi»=54f1146c-05ee-4f3a-be5c-b10f524d8cec>
- [8] Comissão Europeia, “Plano Nacional Energia E,” *Plano Nac. Energ. E Clima 2021-2030 (Pnec 2030)*, vol. 2030, no. Pnec 2030, pp. 1–200, 2019, [Online]. Available: https://www.dgeg.gov.pt/media/vedhi5t1/pnec-pt_template-final-versão-final_30_06_2023.pdf
- [9] “politica-energetica-principios-gerais @ www.europarl.europa.eu.” [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/68/politica-energetica-principios-gerais>
- [10] “energias-renováveis @ rea.apambiente.pt.” [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/energias-renováveis>
- [11] DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia and D. de S. de P. E. e Estatística, “Estatísticas rápidas das renováveis,” pp. 1–23, 2016, [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/media/1nhf2yj0/renovaveis-202308.pdf>
- [12] DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, “Energias Renováveis e Sustentabilidade.” <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/comunidades-de-energia/>
- [13] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Guia Legislativo”, [Online]. Available: https://www.dgeg.gov.pt/media/llfo2mvn/capitulo-i-legislação_rev_1.pdf
- [14] “2022-177634029 @ diariodarepublica.pt.” [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2022-177634029>
- [15] “01f4ed1ba735a39c55571ecf9411a97aca065140 @ www.dgeg.gov.pt.” [Online]. Available:

- <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/comunidades-de-energia/o-que-e-uma-comunidade-de-energia/>
- [16] Duarte Queirós, “Comunidades de Energia Renovável em Portugal: o que são?” [Online]. Available: <https://www.otovo.pt/blog/energia/comunidades-de-energia-renovavel-em-portugal-o-que-sao/>
- [17] A. Cabrita, “Comunidade de energia renovável: O que é e quais as suas vantagens?” [Online]. Available: <https://www.doutorfinancas.pt/energia/comunidade-de-energia-renovavel-o-que-e-e-quais-as-suas-vantagens/>
- [18] H. Almenara, “Comunidades energéticas: o que são e como funcionam?” [Online]. Available: <https://eligenio.com/pt/blog/comunidades-energeticas-o-que-sao-e-como-funcionam/>
- [19] B. Fernandes, “Os desafios das comunidades de energia.” [Online]. Available: <https://observador.pt/opiniao/os-desafios-das-comunidades-de-energia/>
- [20] I. Azevedo, “Comunidades de Energia Renovável: terão espaço para crescer em Portugal?” [Online]. Available: <https://www.inegi.pt/pt/noticias/comunidades-de-energia-renovavel-terao-espaco-para-crescer-em-portugal/>
- [21] J. F. Graça, “Comunidades de Energia Renovável – Um Desafio aos Municípios.” [Online]. Available: <https://eco.sapo.pt/opiniao/comunidades-de-energia-renovavel-um-desafio-aos-municipios/>
- [22] P. Reis, “Qual a inclinação que um painel solar deve ter?” [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/qual-inclinacao-painel-solar/>
- [23] “SARAH-2 Solar Radiation Data.” Gracia Amillo, A.M.; Taylor, N; Martinez A.M.; Dunlop E.D.; Mavrogiorgios P.; Fahl F.; Arcaro G.; Pinedo I. Adapting PVGIS to Trends in Climate, Technology and User Needs. 38th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (PVSEC), 2021, 90. [Online]. Available: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-data-download/sarah-2-solar-radiation-data_en
- [24] M. D. F. Andrade, G. Ivan, and M. Tapia, “Análise Do Sombreamento Entre Painéis Fotovoltaicos Na Cidade De Natal/Rn,” 2022, doi: 10.59627/cbens.2022.1174.
- [25] A. Ben Othman, K. Belkilani, and M. Besbes, “Global solar radiation on tilted surfaces in Tunisia: Measurement, estimation and gained energy assessments.” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/324502848_Global_solar_radiation_on_tilted_surfaces_in_Tunisia_Measurement_estimation_and_gained_energy_assessments
- [26] “23889780 @ figshare.com.” [Online]. Available: https://figshare.com/articles/dataset/ELMAS_dataset/23889780
- [27] F. C. Marques, “Perspectivas de penetração da energia solar fotovoltaica no mercado português,” no. November 2019, 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.17008.61445.
- [28] S. Mariano, M. do R. Calado, J. Pombo, P. Bento, and H. Nunes, “Daily Operation Optimization of a Hybrid Energy System Considering a Short-Term Electricity Price Forecast Scheme.” [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/5/924>
- [29] “VERTEX monocrystalline module.” [Online]. Available:

<https://pdf.archiexpo.com/pt/pdf-en/trina-solar-energy/vertex-tsm-de18m-ii/62627-396392.html#open2272135>

- [30] W. M. Hamanah, M. A. Abido, and L. M. Alhems, "Optimum Sizing of Hybrid PV, Wind, Battery and Diesel System Using Lightning Search Algorithm," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 45, no. 3, pp. 1871–1883, 2020, doi: 10.1007/s13369-019-04292-w.
- [31] "783-acciona-aw-109-3000 @ en.wind-turbine-models.com." [Online]. Available: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/783-acciona-aw-109-3000>