



CARATERIZAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS POR EDIFÍCIO DO IPB E DIMENSIONAMENTO DO FORNECIMENTO DE ENERGIA AO CAMPUS

Zuleica Soraia Conceição Teixeira

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis e Eficiência Energética

Efetuada sob orientação de:

Professor Doutor José Fernando Lopes Barbosa

Bragança, junho 2025

"Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui. Nunca desista de seus objetivos, mesmo que esses pareçam impossíveis. A próxima tentativa pode ser a vitoriosa."

Albert Einstein

Agradecimentos

Durante este trabalho houve avanços e recuos, mas que fizeram deste projeto um desafio interessante.

Agradeço a Deus, por ter me permitido percorrer este caminho até aqui.

Aos meus pais, Albertino Fortes Teixeira e Maria Imaculada Conceição, que sempre estiveram ao meu lado nas horas difíceis e felizes da minha vida.

Ao meu orientador, Professor José Fernando Lopes Barbosa, um obrigado pela sugestão do tema e por todo o apoio e esforço prestado ao longo destes meses de trabalho sem o qual não seria possível a realização deste projeto.

Agradeço à minha irmã que sempre esteve ao meu lado, que me deu forças em todos os momentos.

Agradeço aos meus tios e tias por me ter ajudado e apoiado sempre nesta jornada.

Aos meus amigos, colegas e professores pela ajuda e dedicação que estiveram sempre comigo nesta longa jornada.

Por fim sou grata a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente participaram da realização deste projeto.

Zuleica Teixeira

Resumo

O consumo de energia tem apresentado um crescimento significativo nos últimos anos, impulsionado pelo aumento da demanda industrial, residencial e pela eletrificação dos transportes. Este cenário exige novas estratégias para garantir a sustentabilidade e a eficiência energéticas.

Esse trabalho tem por objetivo o estudo e caracterização dos diagramas de carga dos edifícios do IPB, dimensionamento da produção solar fotovoltaica a instalar em cada edifício, considerando ainda o armazenamento de energia caso existam muitos excedentes que visam suprimir os consumos noturnos do campus.

Pretende-se utilizar os softwares PVsyst (especializado para simulação, dimensionamento e análise de desempenho de sistemas de energia solar fotovoltaica) e Sunny Design (software da SMA usado para planejar e dimensionar sistemas fotovoltaicos, otimizando o desempenho com base em dados técnicos e condições locais) para facilitar o dimensionamento e a realização deste projeto.

A análise do consumo energético foi baseada uma folha de Excel contendo dados de consumo dos edifícios adquiridos em períodos de 15 em 15 minutos ao longo de um ano.

Palavras-Chave: Autoconsumo, Energia solar fotovoltaica, Eficiência energética, Pvsyst, Sunny Design.

Abstract

Energy consumption has shown a significant growth in recent years, driven by the increased industrial and residential demand and the electrification of several means of transport. This scenario requires new strategies to ensure sustainability and energy efficiencies.

The objective of this work is to study and characterize the load diagrams of the IPB buildings, sizing the photovoltaic solar production to be installed in each building, also considering energy storage in case there is a large surplus to suppress nighttime consumption on the campus. Technical and economically assess the solutions for the IPB. The aim is to use the softwares Pvsyst and Sunny Design, to facilitate the dimensioning and implementation of this project.

Data acquisition was based on an Excel spreadsheet with the energy consumption data in the buildings extracted every 15 minutes along the year 2022, where it was necessary to carry out several analyses to obtain daily and nighttime consumption, in order to know the power to be installed in each building according to its respective consumption.

Keywords: Self-consumption, Photovoltaic solar energy, Energy efficiency, PVsyst, Sunny Design.

Índice Geral

Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice de Figuras	vii
Lista de Siglas / Abreviaturas	x
Listas de símbolos e Grandezas.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e objetivos	1
1.2 Objetivo Geral	2
1.3 Objetivos Específicos	2
1.4 Justificativa.....	2
1.5 Estrutura do trabalho	3
2. DESCARBONIZAÇÃO DOS GRANDES EDIFÍCIOS.....	4
2.1 Introdução.....	4
2.1.1 Contexto europeu.....	4
2.1.2 Metas da União Europeia até 2050.....	4
2.1.3 Contexto Nacional (Portugal).....	5
2.1.4 Descarbonização do aquecimento e arrefecimento	5
2.1.5 Roteiro para a descarbonização de Portugal.....	6
2.2 As obrigações do Acordo de Paris	6
2.3 Energia solar fotovoltaica.....	8
2.4 Inversor.....	13
2.5 Controlador de Carga.....	14
2.6 Baterias	15
2.7 Tipos De Sistemas Fotovoltaico	20

2.8 Unidade de produção para autoconsumo.....	22
3. CASO DE ESTUDO	24
3.1 Metodologia.....	25
3.2 Consumos diurnos dos edifícios do IPB (kWh)	27
3.3 Consumos noturnos dos edifícios IPB (kWh)	28
3.4 Cálculo de dimensionamento para Escola Superior de Educação de Bragança (ESE)	29
3.5 Dimensionamento e Caracterização do consumo em cada edifício	30
3.6 Dimensões entre os módulos	31
4. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	39
4.1 ESE	39
4.2 ESTiG	40
4.3 ESA PT1	42
4.4 ESA PT2	43
4.5 Gulbenkian	45
4.8 Domus M (Residência Universitária para estudantes)	49
4.9 Domus F (Residência Universitária para estudantes).....	50
5. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE BATERIAS PARA O CAMPUS IPB	56
5.1 Introdução	56
CONCLUSÃO.....	60
Perspetivas Futuras e Possíveis Melhorias do Sistema	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	65

Índice de Figuras

Figura 1-Perspetiva da evolução das emissões de CO ₂ ; Fonte: FACTS ON CLIMATE,2022.....	6
Figura 2-Estrutura de uma célula fotovoltaica de silício cristalino (Fonte: PV EDUCATION, 2025).....	9
Figura 3-Curva característica de uma célula fotovoltaica.....	10
Figura 4-Variação da curva I-V com a radiação incidente.....	11
Figura 5- Ligação serie dos módulos fotovoltaicos. Fonte: EPJ Photovoltaics, 2022 ...	12
Figura 6-Ligação em paralela dos módulos fotovoltaicos. Fonte: Belleni, 2023.....	12
Figura 7-Ligação em mista dos módulos fotovoltaicos. Fonte: BELLINI (2023).....	13
Figura 8-Esquema de um controlador de carga serie. Fonte: Liu et al., 2024).....	15
Figura 9-Tecnologias para armazenamento de energia.....	16
Figura 10-Capacidade instalada mundial de armazenamento em bateria (GW). Fonte: BESS (2025).....	19
Figura 11-Redução estimada do preço das baterias de íon-lítio; Fonte: BNEF (2017)..	20
Figura 12-Procedimentos de licenciamento (controlo prévio); Fonte: DGEG (2025) ...	23
Figura 13-Consumo Total em cada Edifício; Fonte: Própria.....	25
Figura 14-Distância Mínima Entre Painéis Solares. Fonte: https://easysolar.app/en/shading-calculator/	31
Figura 15-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design na ESE;.....	32
Figura 16-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design no ESTIG;.....	33
Figura 17-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design na ESA PT1.....	33
Figura 18- Dimensionamento dos módulos no Sunny Design no ESA 2 e Cantina;.....	34
Figura 19- Dimensionamento dos módulos no Sunny Design do Gulbenkian;.....	35
Figura 20-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design das ESTUFAS do IPB; ..	35
Figura 21-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design das ESSA do IPB.....	36
Figura 22-- Dimensionamento dos módulos no Sunny Design das Domus masculino do IPB;.....	36
Figura 23-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design das Domus F do IPB;.....	37
Figura 24-Produção FV da ESE; Fonte: Própria;.....	39
Figura 25-Consumo da ESE; Fonte: Própria;.....	40
Figura 26- Rácio de performance; Fonte: PVsyst;.....	40

Figura 27-Produção FV da ESTiG; Fonte: Própria;	41
Figura 28-Consumo para ESTiG; Fonte: Própria;	41
Figura 29-Rácio de performance de ESTiG; Fonte: Pvsyst;	41
Figura 30-Produção FV de ESAPT1; Fonte: Própria;	42
Figura 31-Consumo de ESA PT1; Fonte: Própria;	42
Figura 32-Rácio de performance de ESA PT1; Fonte: Pvsyst;	43
Figura 33-Produção FV de ESA PT2; Fonte: Própria;	43
Figura 34-Consumo de ESA PT2; Fonte: Própria;	44
Figura 35-Rácio de performance de ESA PT2; Fonte: Pvsyst.....	44
Figura 36- Produção FV de Gulbenkian; Fonte: Própria;.....	45
Figura 37-Consumo de Gulbenkian; Fonte: Própria;	45
Figura 38-Rácio de performance de Gulbenkian; Fonte: Pvsyst.....	46
Figura 39-Produção FV de Estufas; Fonte: Própria;	47
Figura 40-Consumo de Estufas; Fonte: Própria;	47
Figura 41-Rácio de performance das Estufas; Fonte: PVsyst	47
Figura 42-Produção FV de Essa; Fonte: Própria;	48
Figura 43-Consumo de Essa; Fonte: Própria;.....	48
Figura 44-Rácio de performance de Essa; Fonte: Pvsyst;	49
Figura 45-Produção FV de Domus Masculino; Fonte: Própria;.....	49
Figura 46-Consumo de Domus Masculino; Fonte: Própria;.....	50
Figura 47-Rácio de performance de Domus M; Fonte: Pvsyst	50
Figura 48- Produção FV de Domus Feminina; Fonte: Própria;.....	51
Figura 49-Consumo de Domus Feminino; Fonte: Própria;	51
Figura 50-Rácio de performance de Domus F; Fonte: Pvsyst.....	51
Figura 51-Produção FV de Domus dos professores; Fonte: Própria;	52
Figura 52-Consumo de Domus dos professores; Fonte: Própria;.....	52
Figura 53-Rácio de performance de R. Domus 3; Fonte: Pvsyst;	53
Figura 54-Produção FV do polidesportivo 2; Fonte: Própria;.....	54
Figura 55-Consumo do polidesportivo 2; Fonte: Própria;.....	54
Figura 56-Rácio de performance do Polidesportivo 2; Fonte: Pvsyst.....	54
Figura 57-Imagem de bateria de LFT de 24 KWh; fonte: BYD Battery-Box;.....	57
Figura 58-Imagem de bateria de LFT de 20 KWh; fonte: BYD Battery-Box.....	57

Índice de tabelas

Tabela 1- Consumos diurnos do IPB em kWh; Fonte: Própria	27
Tabela 2- Consumos noturnos dos IPB; Fonte: Própria	28
Tabela 3 - Dimensionamento e caracterização de cada edifício; Fonte: Própria;	30
Tabela 4 - Comparação entre as produções, excedentes e consumos MWh; Fonte: Excel	56
Tabela 5 - Comparação entre capacidades das baterias e custos; Fonte: Excel.....	58
Tabela 6 - Comparação dos custos das baterias e o tempo de amortização do custo das baterias. Fonte: Excel	58
Tabela 7 - Custo de um sistema com baterias e sem baterias; Fonte: Excel.....	59

Lista de Siglas / Abreviaturas

CE – Comissão Europeia

C-Si – Silício Monocristalino (*Crystalline Silicon*)

EE – Eficiência energética

EPBD – Diretiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios

EED – Diretiva de Eficiência Energética

EEE – Eficiência energética em edifícios

EPBD – Diretiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (*Energy Performance of Buildings Directive*)

F.V – Fotovoltaico

GEE – Gases de Efeito Estufa

HVAC – *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado)

IPB – Instituto Politécnico de Bragança

NZEB – Edifício de Consumo de Energias quase nulo

PNEC – Plano Nacional de Energia e Clima

P-Si – Silício Policristalino (*Polycrystalline Silicon*)

PR – *Performance Ratio* (Rácio de Performance)

PVSYST – *Photovoltaic System Software* (Software de simulação de sistemas fotovoltaicos)

RNC2050 – Roteiro para a Neutralidade carbónica 2050

REN21 – (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century)

UE – União Europeia

UPAC – Unidade de Produção para Autoconsumo

VE – Veículos Elétricos

Yf – Energia útil (*Yield final*)

Listas de símbolos e Grandezas

DiffHor – Irradiação Difusa Horizontal

EAarray – Energia Gerada pelos Painéis

E_Grid – Energia Entregue à Rede

GlobHor – Irradiação Global Horizontal (*Global Horizontal Irradiance*)

GlobInc – Irradiação na Inclinação dos Módulos (*Global Irradiance on Inclined Plane*)

I – Corrente

I_{CC} → Corrente de Curto-Circuito

IMP – Corrente na Máxima Potência

Lc – Perdas por Absorção

Ls – Perdas do Sistema

VOC – Tensão de Circuito Aberto

VMP – Tensão na Máxima Potência

1. INTRODUÇÃO

A energia desempenha um papel essencial no progresso das sociedades contemporâneas, sendo um dos pilares do desenvolvimento económico, social e tecnológico. Contudo, o contínuo crescimento demográfico e a intensificação das atividades humanas têm provocado um aumento acentuado da procura energética a nível global. Este aumento de consumo conduz, por um lado, à rápida diminuição das reservas de fontes de energia fósseis, cuja regeneração é extremamente lenta, por outro, à intensificação de impactes ambientais negativos, nomeadamente a poluição, a emissão de gases com efeito de estufa e o agravamento do aquecimento global. Perante este cenário, impõe-se a necessidade urgente de adotar práticas que promovam uma utilização mais racional e eficiente da energia, orientadas para a sustentabilidade e para a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras.

A caracterização do perfil de consumo dos edifícios permite compreender onde e como se consome energia dentro da instituição, enquanto o dimensionamento fornece as bases técnicas para avaliar a capacidade instalada, prever cenários de expansão e identificar eventuais sobrecargas ou desperdícios. Ainda há grandes possibilidades de sugerir trabalhos futuros e também a partir desta abordagem, é possível não apenas propor estratégias para a melhoria da eficiência energética, mas também subsidiar decisões estratégicas relacionadas a investimentos em infraestrutura, adoção de fontes renováveis, modernização de sistemas e implementação de políticas sustentáveis.

1.1 Enquadramento e objetivos

O interesse pelas energias renováveis tem vindo a aumentar significativamente em todo mundo, devido a crescente preocupação com a degradação do meio ambiente e económicos se comportarem como uma boa alternativa em relação aos recursos fósseis, nomeadamente o petróleo, gás natural e carvão. Face aos recursos fósseis, as energias renováveis contribuem para a diminuição dos impactes ambientais, por isso o Instituto Politécnico de Bragança não quer ficar para atrás e ser mais eficiente possível também, nomeadamente pela redução das emissões de gases de efeito de estufa (GEE). Do ponto de vista económico, o forte desenvolvimento industrial que se tem vindo a verificar em alguns países asiáticos e que resultam num grande aumento das necessidades energéticas

destes, nomeadamente a China e a Índia, tem como consequência o aumento significativo do preço do barril do petróleo nos mercados internacionais. Assim, a aposta nas energias renováveis é um ponto sem retorno, pelo facto de serem fontes de energia inesgotáveis, contribuindo na diminuição da dependência aos recursos fósseis (Agência Internacional de Energia Renovável – IRENA, 2020)).

As energias renováveis existentes são a energia solar, a energia eólica, a energia das marés, a energia geotérmica, a biomassa, e a energia hidroelétrica. Dentro destas, destaca-se a energia solar como tema principal deste trabalho e particularmente, os sistemas fotovoltaicos. O Decreto-Lei n.º 30-A/2022, de 18 de abril, com sucessivas alterações (Decretos-Leis nº 72/2022, 11/2023, 22/2024 e 116/2024), instituiu medidas excecionais para simplificar procedimentos de produção de energia renovável. O DL 116/2024 (de 30 de dezembro de 2024) prorrogou esse regime até 31 de dezembro de 2026.

1.2 Objetivo Geral

- Caracterização dos consumos energéticos por edifício do IPB e dimensionamento do fornecimento de energia ao campus

1.3 Objetivos Específicos

- Estudo e caracterização dos diagramas de carga dos edifícios;
- Dimensionamento da produção solar fotovoltaica a instalar em cada edifício;
- Considerando a possibilidade de armazenamento de energia, caso existam excedentes.
- Análise técnica e económica;

1.4 Justificativa

Face à crescente preocupação global com a sustentabilidade e a eficiência energética, torna-se cada vez mais relevante a adoção de medidas que visem a otimização do uso de recursos energéticos. No contexto do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), esta preocupação é particularmente pertinente, dado o elevado consumo energético associado aos seus diversos departamentos. Assim, surge a necessidade de desenvolver estudos que permitam analisar e propor soluções para a melhoria da eficiência energética no campus, contribuindo para a redução do consumo e para a promoção de práticas mais sustentáveis.

E quanto ao dimensionamento será importante garantir a segurança e a estabilidade do abastecimento de energia de cada edifício, evitando assim desperdício e reduzindo custos operacionais.

Este estudo tem como objetivo disponibilizar informações precisas sobre o consumo energético de cada edifício do IPB, possibilitando a definição de estratégias para reduzir esses consumos. Além disso, permite comparar os resultados obtidos, os quais podem ser relevantes para tomadas de decisão futuras visando a otimização das infraestruturas energéticas do campus.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente documento está organizado em seis grandes capítulos:

Capítulo I- Introdução: É apresentada a importância da caracterização dos consumos de energia nos edifícios, os objetivos do trabalho, a motivação e justificativa e a estrutura geral do trabalho.

Capítulo II – Conceitos gerais: Descarbonização dos grandes edifícios e o Acordo de Paris, energia Fotovoltaica e tipos, sistemas UPAC.

Capítulo III – Desenvolvimento do caso de estudo e a metodologia utilizada.

Capítulo IV – Análise dos resultados.

Capítulo V – Resultados obtidos dos dimensionamentos de cada edifício.

Conclusão e sugestões futuras.

Referências bibliográficas

Anexos

2. DESCARBONIZAÇÃO DOS GRANDES EDIFÍCIOS

2.1 Introdução

2.1.1 Contexto europeu

O combate às alterações climáticas é um dos maiores desafios que a humanidade enfrenta nos dias de hoje. Ultrapassar este desafio requer uma transformação da economia para um modelo mais sustentável e ecológico, com redução significativa dos impactos ambientais, tem de se optar por uma maior eficiência no uso de recursos para assim ter maior qualidade de vida das populações (PALMA; GOUVEIA, 2023).

2.1.2 Metas da União Europeia até 2050

Com este objetivo em mente, a União Europeia (UE) definiu como meta atingir a neutralidade climática em 2050 (Comissão Europeia, 2023), através de uma economia com valor líquido nulo de emissões de gases de efeito estufa (GEE), reforçando o compromisso de ação climática alinhado com o Acordo de Paris. O Parlamento Europeu aprovou o objetivo da neutralidade carbónica na resolução de 2019, sobre as alterações climáticas, e na resolução sobre o Pacto Ecológico Europeu de 2020. No Pacto Ecológico Europeu (Comissão Europeia, 2019), a Comissão Europeia (CE) avançou um conjunto de propostas abrangendo os vários setores da economia com o objetivo de cumprir a meta de redução de 55% das emissões de GEE em comparação com os valores de 1990, dando passos decisivos para atingir a almejada neutralidade climática em 2050.

O setor da energia é um dos mais importantes para a transição necessária, representando 75% das emissões GEE na UE (Comissão Europeia, 2021a). O Pacto Ecológico Europeu descreve a descarbonização do sistema energético como um passo crítico neste processo, destacando a substituição em larga escala dos combustíveis fósseis, como o gás natural e o carvão, por fontes de energia renovável e ainda a importância da aposta na eficiência energética (Comissão Europeia, 2019). A descarbonização requer uma transformação substancial do sistema energético, da forma como a energia é obtida, transportada e consumida. A forma e natureza desta transformação é ainda motivo de grande debate, devido à sua dimensão política e potencial impacto na vida das populações. Enquanto medidas como a redução da dependência de combustíveis fósseis, a promoção da eletrificação do consumo energético e a expansão da produção de eletricidade por fontes

renováveis são relativamente consensuais, outras soluções como o hidrogénio e gases ditos renováveis afiguram-se como mais controversas (ZACHMANN et al., 2021).

2.1.3 Contexto Nacional (Portugal)

Em Portugal, a descarbonização dos edifícios é um objetivo político enquadrado e reiterado em várias estratégias e instrumentos na área da energia e clima, constituindo-se como um pilar importante no caminho para o cumprimento das metas definidas no Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) 2021-2030, aprovado em 2020. O plano define para o país uma meta geral de redução de GEE entre -45% a -55%, de incorporação de energia renovável no consumo final bruto de energia de 47% e redução do consumo de energia primária em 35% em 2030 (Governo de Portugal, 2020). A nível setorial, o PNEC estabelece uma meta de redução de 35% de GEE no setor residencial para 2030. Define ainda, uma meta de 80% do consumo assegurado por eletricidade e 38% do aquecimento e arrefecimento assegurado por energia renovável. O plano refere que o reforço da eletrificação estará associado à descarbonização da produção, através da aposta nas tecnologias solar e eólica on-shore/off-shore, em paralelo com a produção distribuída com aposta nas comunidades de energia renovável, armazenamento e otimização da rede de transporte e distribuição, projetos-piloto de solar térmico concentrado, geotermia estimulada e energia das ondas (PALMA; GOUVEIA, 2023).

2.1.4 Descarbonização do aquecimento e arrefecimento

A descarbonização do aquecimento e arrefecimento deverá assentar na eletrificação destes consumos e diminuição do peso dos combustíveis fósseis, com aumento potencial da biomassa, nomeadamente a criação de centrais térmicas descentralizadas, e dos gases renováveis, como o bio metano e o hidrogénio. No que respeita aos edifícios, é referido o papel relevante das bombas de calor, destacada como uma das formas mais eficientes para o aquecimento e arrefecimento, de forma a promover a eletrificação do consumo energético e aumento do conforto térmico nas habitações. O solar térmico é igualmente destacado como solução importante para o aquecimento de águas domésticas e, em ligação com outras soluções, como opção igualmente relevante para o aquecimento de espaços. As redes térmicas urbanas são consideradas como uma opção pouco viável devido ao clima do país, não se perspetivando desenvolvimentos relativamente à aposta nesta solução (Governo de Portugal, 2020)

2.1.5 Roteiro para a descarbonização de Portugal

Portugal comprometeu-se internacionalmente com o objetivo de redução das suas emissões de gases com efeito de estufa por forma a que o balanço entre as emissões e as remoções da atmosfera seja nulo em 2050. A este objetivo deu-se o nome de “neutralidade carbónica”. Este objetivo está em linha com o Acordo de Paris, no âmbito do qual Portugal se comprometeu a contribuir para limitar o aumento da temperatura média global do planeta a 2 °C e a fazer esforços para que esta não ultrapasse os 1,5 °C. O compromisso da neutralidade carbónica confirma o posicionamento de Portugal entre aqueles que assumem a liderança no combate às alterações climáticas (FACTS ON CLIMATE,2022)

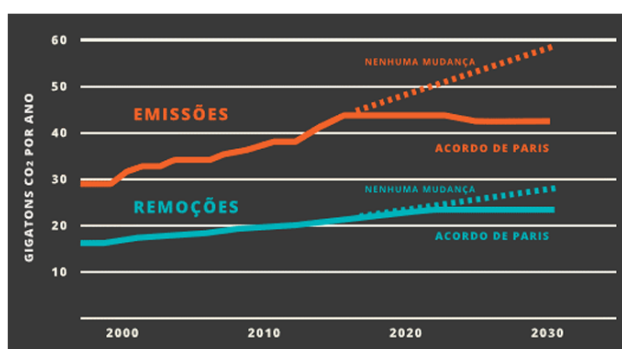


Figura 1-Perspetiva da evolução das emissões de CO₂; Fonte: FACTS ON CLIMATE,2022

Segundo os mesmos autores o objetivo principal do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) é a identificação e análise das implicações associadas a trajetórias alternativas, tecnicamente exequíveis, economicamente viáveis e socialmente aceites, e que permitam alcançar o objetivo de neutralidade carbónica da economia portuguesa em 2050. Em termos de áreas de intervenção, o RNC2050 apresentará trajetórias alternativas até 2050 para quatro componentes sectoriais, principais responsáveis pelas emissões GEE e pelo sequestro de carbono:

- Energia
- Transportes
- Resíduos
- Agricultura, florestas, uso do solo

2.2 As obrigações do Acordo de Paris

- Todo o novo edifício é esperado que possuam neutralidade carbónica em 2030;

- Pretende-se que a totalidade dos edifícios tenham neutralidade carbónica em 2050.

Os imóveis possuem, igualmente, um significativo impacto de longo prazo no consumo regional de energia, dado o longo ciclo de renovação do parque imobiliário existente. Nos próximos anos, os edifícios novos e os edifícios reabilitados deverão estar adaptados às condições específicas de cada região, cumprindo os respetivos requisitos de desempenho energético. Em termos médios, o consumo energético ao longo do ciclo de vida de um Edifício de Habitação, na UE, distribui-se do modo (ciclo médio de 50 a 100 anos):

- Materiais de Construção: 4 %
- Fabrico: 4 %
- Utilização: 90 %
- Demolição: 2 %

Como o edificado em betão tem um maior potencial de poupança energética face a outros materiais, o betão poderá ter um papel fundamental na concretização dos objetivos da UE por intermédio da construção de edificado com baixo consumo de energia. Também poderá contribuir significativamente para os ambiciosos objetivos europeus de redução das emissões de CO₂. Assim, a UE pretende alcançar uma redução das emissões entre 88% e 91% (tomando como referência o ano de 1990) nos sectores residencial e de serviços em 2050 (FERNANDES; LEITÃO,2019)

- Assegurar que o parque edificado possua uma elevada eficiência energética e descarbonização, assim como garantir que as estratégias de renovação, a longo prazo, proporcionem os progressos necessários para a transformação dos edifícios existentes em edifícios Quase Energia-Zero (NZEB), através de um aumento da quantidade de edifícios reabilitados;
- Reforçar a necessidade de otimização dos Sistemas Passivos e da Inércia Térmica (EN ISO 13790).

A EPBD – Diretiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (*Energy Performance of Buildings Directive*) é vinculativa e de cumprimento obrigatório para os Estados-Membros da União Europeia. Em Portugal, esta diretiva é implementada através do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, gerido pela ADENE (Agência para a Energia), e aplica-se tanto a edifícios novos como a edifícios existentes. Embora o processo de certificação envolva tempo e análise rigorosa, nomeadamente na avaliação do desempenho energético e do impacto ambiental, ele constitui um passo fundamental para promover a eficiência energética. A consciencialização dos proprietários para a redução de custos através da reabilitação energética dos edifícios revela-se uma estratégia eficaz para fomentar intervenções sustentáveis no setor da construção.

2.3 Energia solar fotovoltaica

A Energia Fotovoltaica (PV) é a conversão direta da luz solar em eletricidade. Ela tem sido usada como fonte de energia para calculadoras, relógios, transporte de água por bomba, edifícios remotos, comunicações, satélites e veículos espaciais e em centrais de produção de energia em escala de megawatts (SHARIF et al., 2025).

2.3.1 Células Fotovoltaicas

2.3.1.1 Células Fotovoltaicas da 2.^a Geração:

As células fotovoltaicas de segunda geração são, geralmente, finas camadas (thin-film), com menor custo de produção e materiais semicondutores alternativos ao silício cristalino (PV EDUCATION, 2025):

- **CdTe (Telureto de Cádmio)** – baseadas em telúrio de cádmio, têm baixo custo de fabrico e boa eficiência.
- **CIS (CuInSe₂)** – compostas por cobre, índio e selénio.
- **CIGS (CuInGaSe₂)** – semelhantes às CIS, mas com adição de gálio, formando uma liga que melhora a eficiência.
- **GaAs (Arseniato de Gálio)** – apresentam alta eficiência e estabilidade, mas são caras, sendo usadas em aplicações espaciais.

2.3.1.2 Células Fotovoltaicas da 3.^a Geração:

Esta geração explora novos materiais e conceitos para superar as limitações teóricas das anteriores:

- **Células de nanocristais e polímeros orgânicos** – usam materiais semicondutores orgânicos ou nanoestruturados.
- **Células DSSC (Dye-Sensitized Solar Cells)** – sensibilizadas por corante.
- **Células de perovskita** – prometem elevada eficiência com baixo custo, sendo alvo de intensa investigação.
- **Células fotovoltaicas de concentração (CPV)** – utilizam lentes ou espelhos para concentrar a luz solar em pequenas áreas de células de alta eficiência.

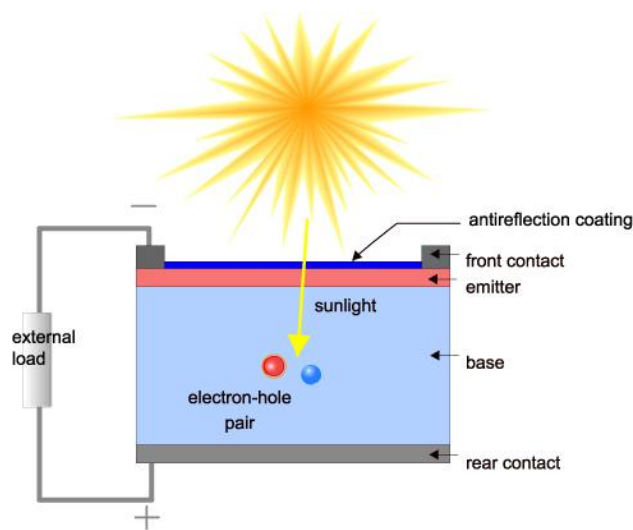


Figura 2-Estrutura de uma célula fotovoltaica de silício cristalino (Fonte: PV EDUCATION, 2025).

2.3.2 Tipos De Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas podem ser construídas a partir da junção P-N, onde o material utilizado é o silício (dentro dessa geração de células fotovoltaicas destacam-se as de silício monocristalino e policristalino), ou a partir da tecnologia dos filmes finos. Os materiais utilizados nesta tecnologia são CdTe (telúrio de cádmio), Si (silício amorfo), $\mu\text{c-Si}$ (silício microcristalino).

O silício monocristalino (c-Si) continua a ser o material predominante na fabricação de células fotovoltaicas, representando cerca de 84% do mercado global. Este tipo de silício é caracterizado por uma estrutura cristalina uniforme, o que minimiza as recombinações eletrônicas e maximiza a eficiência de conversão, alcançando até 24,4% em condições laboratoriais. No entanto, em aplicações práticas, a eficiência geralmente fica em torno

de 15% a 20%, devido a perdas associadas ao processo de fabricação e às condições operacionais. Por outro lado, o silício policristalino (p-Si), composto por múltiplos cristais, apresenta uma eficiência ligeiramente inferior, cerca de 22,3% em células solares. Apesar disso, o p-Si é mais econômico de produzir, representando aproximadamente 11% do mercado. Entretanto, a presença de múltiplos grãos cristalinos pode aumentar as recombinações eletrônicas, reduzindo a eficiência geral do dispositivo (GREEN, M. A et,2018).

2.3.3 Curva I-V De Uma Célula Fotovoltaica

A corrente elétrica e uma célula fotovoltaica pode ser considerada como a soma da corrente de uma junção P-N no escuro (diodo semiconductor), com a corrente gerada pelos fótons absorvidos pela radiação solar. Esta corrente em função da tensão no dispositivo, representa a curva I-V. Os principais parâmetros destacados nessa curva são: I_{CC} (corrente elétrica de curto-circuito), V_{OC} (tensão de circuito aberto), P_{MP} (potência máxima) I_{MP} (corrente na máxima potência) e V_{MP} (tensão na máxima potência). (FEUP,2021).

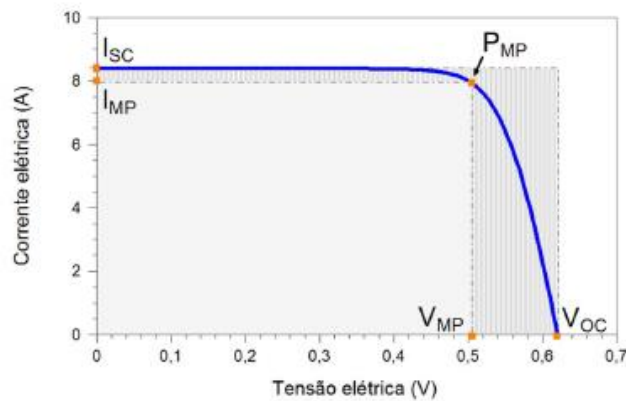


Figura 3-Curva característica de uma célula fotovoltaica

A curva I-V é de grande relevância sendo que a partir desta podemos tirar diversas considerações num circuito com painéis FV como I_{sc} , V_{oc} e P_{ma} .

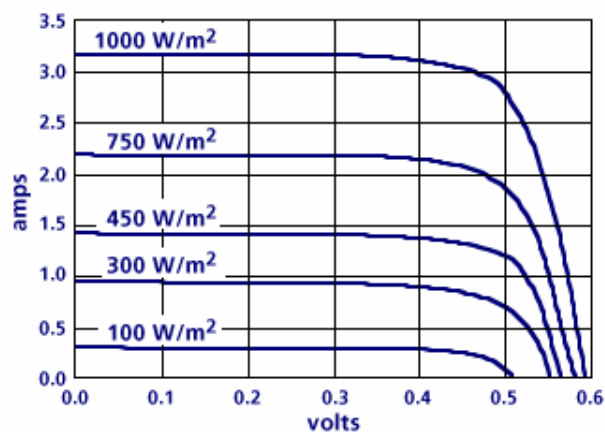


Figura 4-Variação da curva I-V com a radiação incidente

A figura 2.4 mostra que:

- A potência de saída aumenta com o aumento da radiação incidente.
- A corrente de curto-circuito varia linearmente com a radiação incidente,
- A tensão de circuito aberto varia pouco com a radiação incidente, sendo esta variação, no entanto, mais importante para valores baixos de radiação incidente.

2.3.4 Constituição De Um Sistema Fotovoltaico

Os principais elementos que entram na constituição de um sistema fotovoltaico são:

- Módulos FV,
- Inversor,
- Controlador de carga,
- Baterias.

2.3.4.1 Módulos

Os módulos ou submódulos são ligados entre si terminal a terminal (positivo de um no negativo do outro), resultando em aumento da tensão, enquanto a corrente permanece constante. Ideal para alcançar tensão suficiente para o inversor ou transmissão de longa distância. Os módulos fotovoltaicos ligados em série constituem aquilo que normalmente se designa por fileiras, e são utilizados módulos do mesmo tipo, de forma a minimizar as perdas de potência no sistema (EPJ Photovoltaics, 2022).

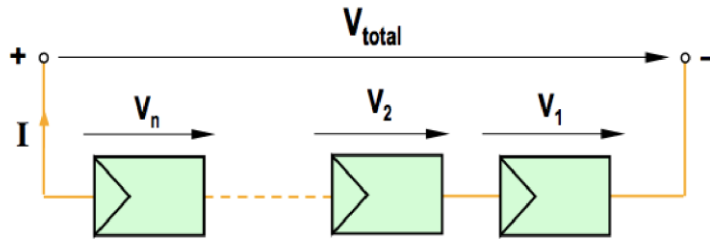


Figura 5- Ligação serie dos módulos fotovoltaicos. Fonte: EPJ Photovoltaics, 2022

$$V_1 = V_2 = \dots = V_n = V \Rightarrow V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n = n \cdot V \quad (2.1)$$

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I$$

Segundo o autor BELLINI (2023), a associação em paralelo de módulos fotovoltaicos é efetuada quando pretende obter correntes mais elevadas e manter o nível de tensão estipulada do módulo. Uma das vantagens é melhor tolerância a sombreamento localizado, pois um módulo não reduz o desempenho dos demais e uma das desvantagens requer fios mais grossos e há maior risco de desigualdade entre módulos.

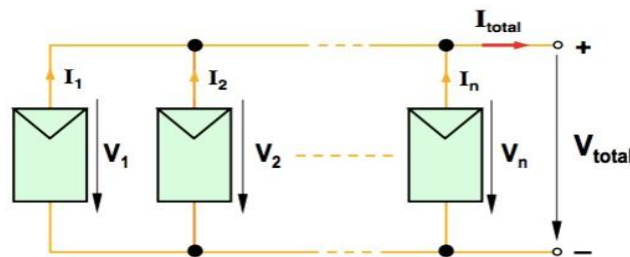


Figura 6-Ligação em paralela dos módulos fotovoltaicos. Fonte: Belleni, 2023

$$I = I_1 = I_2 = I_n \Rightarrow I_{total} = I_1 + I_2 + I_n = n \cdot I \quad (2.2)$$

$$V_{total} = V = V_1 = V_2 = V_n$$

Nos sistemas fotovoltaicos com ligação à rede, é muito comum efetuar-se a associação de várias fileiras de módulos ligadas em paralelo. Combinação em que várias strings em série são agrupadas em paralelo. Primeiro se interligam módulos em série até atingir a tensão desejada, e então várias dessas strings são conectadas em paralelo para alcançar a corrente necessária. Esse arranjo é o mais comum na prática, por equilibrar tensão e

corrente para sistemas de médio e grande porte, além de oferecer redundância e facilidade de fabricação (BELLINI (2023)).

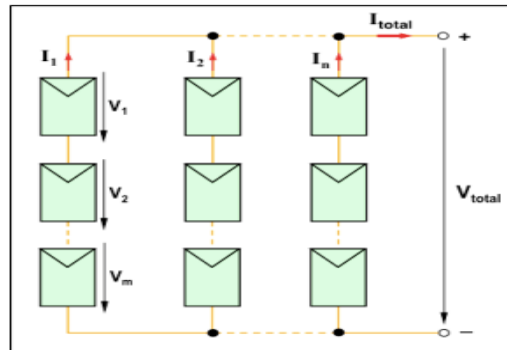


Figura 7-Ligação em mista dos módulos fotovoltaicos. Fonte: BELLINI (2023)

2.4 Inversor

Os inversores são componentes essenciais em sistemas de energia solar fotovoltaica (PV), pois convertem a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (CA), que é a forma utilizada pelas redes elétricas e pela maioria dos aparelhos elétricos. E também são cruciais para a integração eficiente e segura da energia solar nas redes elétricas, sendo responsáveis pela conversão, controle e proteção do sistema. Tecnologias emergentes em semicondutores estão aumentando significativamente a eficiência e confiabilidade desses dispositivos. (KUMAR et al., 2023).

- A conversão da corrente DC gerada pelo gerador fotovoltaico em corrente AC, de acordo com os requisitos técnicos e de segurança que estão estipulados para a ligação à rede;
- Ajuste do ponto operacional do inversor ao MPP do gerador fotovoltaico (rastreamento do ponto MPP);
- Registo de dados operacionais e sinalização (Interfaces de visualização, sistemas de armazenamento e mecanismos de transferência de dados);
- Dispositivos de proteção AC e DC (proteção de polaridade, proteção contra sobrecargas e sobretensões e equipamento de proteção da interligação com a rede recetora).

2.4.1 Tipos de inversores

- **Inversores string:** Conectam vários painéis em série. São os mais usados em sistemas residenciais e comerciais.
- **Microinversores:** Instalados em cada painel individual, aumentam a eficiência em situações de sombreamento parcial, mas são mais caros.
- **Inversores centrais:** Usados em grandes usinas fotovoltaicas, conectam centenas ou milhares de painéis a um único inversor de alta potência.

2.5 Controlador de Carga

Os controladores de carga são elementos essenciais para otimizar o carregamento e proteger as baterias em sistemas fotovoltaicos, sendo os controladores MPPT a tecnologia dominante pela sua capacidade de maximizar a energia extraída dos painéis solares. (LIU et al., 2024)

O controlador de carga é um dispositivo fundamental nos sistemas fotovoltaicos que utilizam baterias para armazenar energia. Sua função principal é gerenciar o fluxo de energia entre os painéis solares e as baterias, garantindo que as baterias sejam carregadas corretamente e protegidas contra sobrecarga, descarga excessiva e outros danos que poderiam reduzir sua vida útil.

Principais funções do controlador de carga:

- **Proteção contra sobrecarga:** Interrompe ou reduz o carregamento quando a bateria atinge sua tensão máxima segura, evitando danos.
- **Proteção contra descarga profunda:** Evita que a bateria descarregue abaixo de um limite seguro, que poderia prejudicar sua capacidade e durabilidade.
- **Regulação do carregamento:** Otimiza a corrente de carga para maximizar a eficiência e preservar a saúde da bateria, podendo usar algoritmos de carga em múltiplas etapas (bulk, absorption, float).
- **Balanceamento e equalização:** Em alguns modelos avançados, promovem o balanceamento entre células/baterias para garantir desempenho uniforme.
- **Monitoramento:** Muitos controladores modernos possuem monitoramento remoto e comunicação para análise do desempenho do sistema.

2.5.1 Tipos de controladores de carga:

- **Controladores PWM** (Pulse Width Modulation): Controlam a carga ligando e desligando rapidamente a corrente, simples e econômicos.
- **Controladores MPPT** (Maximum Power Point Tracking): Ajustam a tensão de entrada para operar os painéis no ponto de máxima potência, aumentando a eficiência do sistema em até 30% em comparação com PWM.

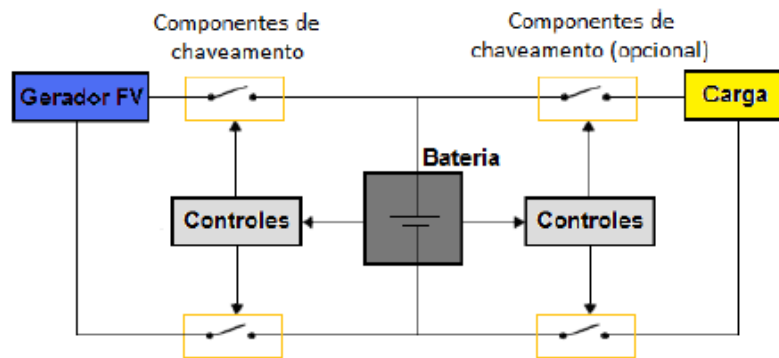


Figura 8-Esquema de um controlador de carga série. Fonte: Liu et al., 2024)

2.6 Baterias

O armazenamento de energia é um tema central no aproveitamento da energia solar nos sistemas autônomos, dado que a produção e o consumo de energia não coincidem, quer ao longo do dia quer ao longo do ano. A energia solar produzida durante o dia não é, normalmente, utilizada antes no início da noite, sendo por este motivo necessário armazená-la. Os períodos de dias sucessivos sem sol também devem ser tidos em conta. Em sistemas FV o armazenamento de energia é efetuado mediante ao uso de baterias, por isso para o caso do IPB será feito um estudo da caracterização do consumo e da produção energética para saber se em cada edifício terá um banco de baterias ou não.

Uma bateria é um conjunto de células eletroquímicas, conectadas em série e em paralelo, capazes de armazenar energia. Nos sistemas fotovoltaicos é aplicado as seguintes baterias: ácido de chumbo, AGM, Gel e níquel-cádmio e de Ion de lítio (KOST, C. et al,2023).

2.6.1 Soluções de armazenamento e tendências para baterias

Há diversas alternativas tecnológicas para armazenamento de energia, cada uma delas com uma série de vantagens, desvantagens e aplicações. Como panorama geral, a Figura em baixo ilustra as principais tecnologias em estudo para armazenamento de energia em grande escala (EPE,2019)

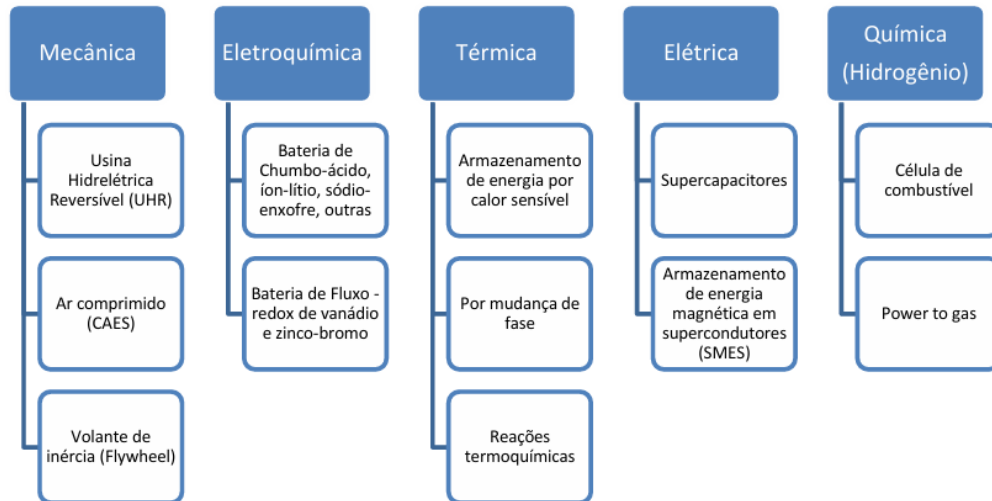


Figura 9-Tecnologias para armazenamento de energia

Fonte: Adaptado de (MassCEC & DOER (2016)

O armazenamento por meio de baterias apresenta grande potencial e destaca-se como uma das principais tecnologias a ser utilizada nas matrizes elétricas futuras, onde algumas de suas características justificam o grande crescimento no número de projetos desenvolvidos e a enorme expectativa sobre o futuro das tecnologias, sobretudo (EPE,2019)

- Alta densidade de energia, alta eficiência e baixíssimo tempo de resposta em operação;
- Flexibilidade tanto em capacidade de instalação (sistemas modulares e altamente customizáveis) quanto em possibilidade de alocação física (requer pequena área para instalação, baixa utilização de água ou ausência de emissão de poluentes na operação, sendo possível instalação em qualquer tipo de ambiente);
- Versatilidade de aplicações atendidas, desde sistemas onde são exigidas respostas instantâneas e de alta potência durante um curto intervalo de tempo, como também aplicações de maior duração;

2.6.2 Tecnologias das baterias eletroquímicas

Com relação às baterias eletroquímicas, as principais tecnologias que se desenvolveram nos últimos anos, com maior participação no mercado, ou ainda que tenham perspectivas de crescimento nos próximos anos são: as baterias de chumbo-ácido, íon-lítio, sódio-enxofre e bateria de fluxo (DOE, 2023).

Cada tecnologia possui diferentes características, com diferentes vocações, o que faz com que comparações técnicas e económicas devam ser realizadas caso a caso, pois a viabilidade de cada solução é bastante variável com o dimensionamento e com a aplicação desejada. Com a evolução de cada tecnologia, é importante que tais avaliações continuem a ser realizadas, pois é possível que ocorram mudanças rápidas no mercado de armazenamento (EPE,2019).

A rápida evolução das baterias de fluxo beneficia bastante da necessidade crescente de acumular eletricidade proveniente de fontes renováveis, uma vez que estas baterias são vistas como uma excelente solução para este tipo de aplicações como no caso referente ao IPB (DOE, 2023).

2.6.2.1 Baterias Ion de Lítio (Li-ion)

As baterias de íon de lítio têm revolucionado o armazenamento de energia em sistemas fotovoltaicos devido à sua alta densidade energética, longa vida útil e eficiência superior, consolidando-se como a escolha preferida em aplicações residenciais e industriais.

As baterias de íon de lítio (Li-ion) são atualmente a tecnologia de armazenamento de energia mais utilizada em sistemas fotovoltaicos, veículos elétricos e dispositivos eletrônicos portáteis, graças à sua alta densidade energética, longa vida útil e eficiência superior. (WANG et al., 2024)

Características principais das baterias li-ion:

- Permitem armazenar uma grande quantidade de energia por unidade de peso e volume, sendo leves e compactas.
- Suportam milhares de ciclos de carga e descarga com perda gradual de capacidade, geralmente entre 2000 e 5000 ciclos, dependendo do tipo e uso.
- Alta eficiência energética (>90%), com baixa autodescarga.

- Apesar de exigirem sistemas de gerenciamento de bateria (BMS) para evitar sobrecarga, descarga profunda e superaquecimento, os avanços recentes melhoraram a segurança do Li-ion.

2.6.2.2 Baterias Lítio Ferro Fosfato (LiFePO₄)

São também muito utilizadas onde são mais seguras que os de íon de Lítio tradicionais, menor densidade, mas muito utilizada em usinas solares e maior durabilidade em termos de vida útil. Neste caso para o dimensionamento será utilizado esses tipos de baterias para o armazenamento de energia para ser utilizado à noite nos edifícios do IPB. Isto porque são termicamente estáveis e menos propensas a combustão ou explosão, mesmo em caso de sobrecarga, curto-circuito ou perfuração. Também possuem uma vida útil muito superior aos outros, alta eficiência de carga e descarga (cerca de 95%–98%), menor perda de energia na conversão e melhor desempenho em aplicações de energia renovável e ainda são resistentes a temperaturas elevadas.

E esses podem ser usadas em armazenamento de energia solar e eólica, veículos elétricos (carros, ônibus, bicicletas), sistemas de backup (no-breaks, telecomunicações) e equipamentos portáteis e náuticos.

2.6.2.3. Bateria de Estado Sólido

É uma das tecnologias promissoras onde usa eletrólito sólido em vez de líquido, tem maior densidade de energia, mas ainda se encontra em fase de desenvolvimento comercial, mas já com grandes investimentos.

2.6.2.4. Baterias de Fluxo

São baterias usadas em armazenamento de grandes escalas, por exemplo no armazenamento das energias renováveis, com longa vida e fácil de escalar, com uma densidade baixa para aplicações móveis.

2.6.2.5. Baterias de Sódio-Íon

São baterias que podem ser muito úteis para a substituição das baterias de lítio, visto que, são mais baratas e mais comuns no mercado. Também são promissoras para o armazenamento estacionário com uma densidade baixa, ou seja, onde o consumo é baixo.

2.6.3 Tendências para sistemas de armazenamento em baterias

O crescimento do mercado global de armazenamento de energia por baterias (BESS) tem sido notável nos últimos anos, refletindo a crescente necessidade de integração das fontes renováveis intermitentes, como solar e eólica, às redes elétricas.

Em 2025, espera-se que a capacidade global de armazenamento de energia por baterias atinja aproximadamente 247 GWh, representando um aumento significativo em relação aos 200 GWh adicionados em 2024. (International Energy Agency, 2024)

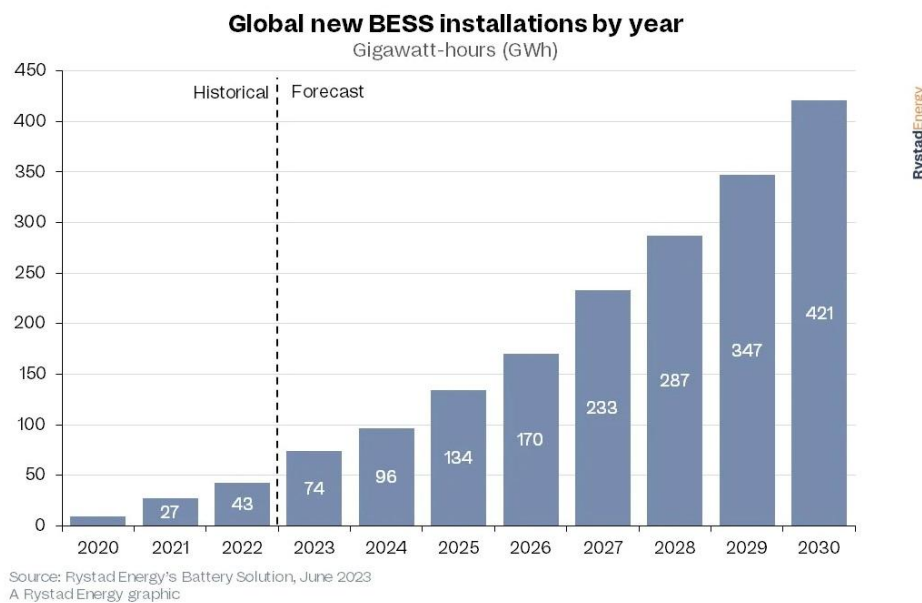


Figura 10-Capacidade instalada mundial de armazenamento em bateria (GW). Fonte: BESS (2025)

A expectativa é de que o mercado global de armazenamento crescerá até 2040, com investimentos da ordem de US\$660 bilhões (BNEF, 2019). O estudo considera que este crescimento será possível devido a quedas significativas nos preços das baterias de íon de lítio, assim como a redução de 85% ocorrida entre 2010-2018.

Apesar de haver diferentes tecnologias competindo entre si, e diversas delas com perspectiva de queda de preço futuro, as apostas da maioria das instituições de pesquisa do setor recaem sobre a tecnologia de íon-lítio.

Outro fator que poderá impulsionar o mercado de armazenamento em baterias estacionárias é a reutilização das baterias provenientes dos veículos elétricos (cujas exigências de profundidade e velocidade de descarga são maiores), após uma degradação

que impossibilite o uso das mesmas para essa aplicação. Baterias de Íon-Lítio consideradas de segunda vida teriam custo bastante reduzido e vida útil remanescente satisfatória para aplicações estacionárias, onde densidade de carga e confiabilidade não são fatores cruciais como nas aplicações mais exigentes em veículos elétricos (BNEF (2017).

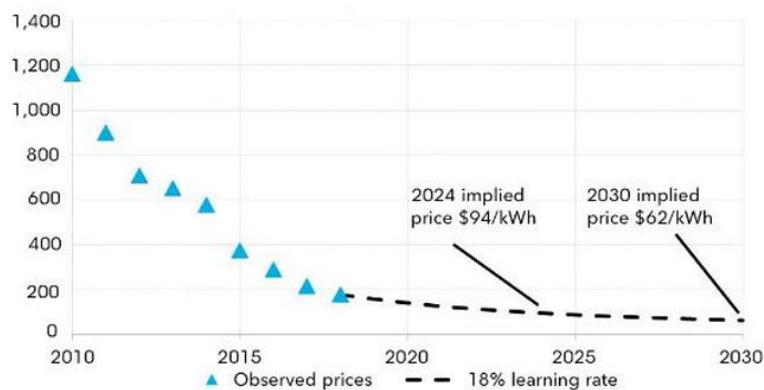


Figura 11-Redução estimada do preço das baterias de íon-lítio; Fonte: BNEF (2017).

2.7 Tipos De Sistemas Fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos estão se diversificando rapidamente, com destaque para a expansão dos sistemas conectados à rede, o crescimento sustentável dos sistemas isolados em áreas remotas, e o emergente mercado de sistemas flutuantes que aproveitam corpos hídricos para instalação eficiente. (International Energy Agency, 2023)

2.7.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Segundo a IEA (2023), sistemas conectados à rede representam cerca de 70% da capacidade fotovoltaica instalada globalmente, com crescimento acelerado principalmente em mercados como China, EUA e Europa.

- São sistemas que funcionam em conjunto com a rede elétrica pública. A energia gerada pode ser consumida instantaneamente, e o excedente pode ser exportado para a rede, muitas vezes gerando créditos para o consumidor.

- São os mais comuns em áreas urbanas e residenciais, devido à facilidade de integração e custo-benefício.

2.7.2 Sistemas Fotovoltaicos Isolados (Off-grid)

Estima-se que o mercado off-grid cresceu cerca de 15% ao ano na última década, segundo a REN21 (2024).

- Operam independentemente da rede elétrica, geralmente combinados com baterias para armazenamento de energia, usados em locais remotos ou rurais sem acesso à rede.
- Crescimento impulsionado pela eletrificação rural em países em desenvolvimento.

2.7.3 Sistemas Híbridos

- Combinação de fontes de energia renovável, como PV com geradores diesel e baterias, para garantir maior confiabilidade.
- Muito utilizados em regiões isoladas para reduzir consumo de combustíveis fósseis.
- A integração com sistemas de armazenamento e gerenciamento inteligente está aumentando sua eficiência.

2.7.4 Sistemas Flutuantes (Floating PV)

São um segmento em rápido crescimento, com a capacidade global atingindo mais de 4 GW em 2023 (IEA, 2023).

- Instalados sobre corpos d'água (represas, lagos), com benefícios de economia de espaço e aumento da eficiência devido ao resfriamento natural.

2.8 Unidade de produção para autoconsumo

A unidade de produção para autoconsumo (UPAC) permite produzir localmente a sua própria energia e contribuir diretamente para o abatimento da fatura de eletricidade. Particulares, condomínios e empresas podem usufruir das UPAC.

As unidades de autoconsumo produzem eletricidade preferencialmente para satisfazer as necessidades de consumo. A energia produzida é consumida instantaneamente, reduzindo assim a compra de energia da rede. O aproveitamento da energia produzida pelo sistema fotovoltaico na instalação elétrica ocorre apenas quando existe consumo. A energia excedente é injetada na rede elétrica de serviço público ou armazenada (DGEG, 2025).

2.8.1 Procedimentos de licenciamento (controlo prévio)

Para a instalação de uma ou mais UPAC em AC (ACI, ACC e CER), é necessário efetuar um procedimento de licenciamento conforme referido no ponto 2. Este procedimento é o primeiro passo a realizar para o exercício das atividades de AC e armazenamento de eletricidade e está sujeito a diferentes regras que dependem da potência do sistema a instalar (DGEG,2025)

2.8.2 Isenção de controlo prévio

A isenção de controlo prévio é aplicada ao exercício da atividade de 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.

2.8.3 Comunicação prévia

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, logo o título é emitido:

- Comprovativo da apresentação da comunicação prévia que habilita a instalação da UPAC.

2.8.4 Registo prévio e certificado de exploração

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:

- Comprovativo de registo prévio, que habilita à instalação da UPAC ou da instalação de armazenamento;
- Certificado de exploração, que habilita a UPAC a iniciar o seu funcionamento.

2.8.5 Licenças de produção e de exploração

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. Também ficam sujeitas a estas licenças as instalações de produção ou armazenamento autónomo quando sujeitas a procedimentos de avaliação de impacte ambiental (AIA) ou de avaliação de incidências ambientais, nos termos da legislação aplicável, e as atividades de produção e armazenamento de eletricidade não referidas nos outros procedimentos de controlo prévio. Cada uma destas licenças tem finalidades distintas, como se indica a seguir. Licença de produção, que habilita ao estabelecimento e exercício das atividades de AC ou armazenamento de eletricidade;

- Licença de exploração, que habilita a entrada em exploração da instalação de AC ou armazenamento de eletricidade.

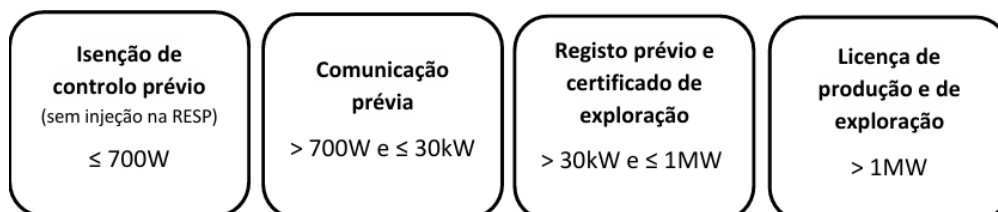


Figura 12-Procedimentos de licenciamento (controlo prévio); Fonte: DGEG (2025)

3. CASO DE ESTUDO

O Instituto Politécnico de Bragança (IPB) é uma instituição pública de ensino superior que tem por missão a criação, transmissão e difusão do conhecimento técnico-científico e do saber de natureza profissional, através da articulação do estudo, do ensino, da investigação orientada e do desenvolvimento experimental. O IPB integra a rede europeia de Universidades de Ciências Aplicadas (European Network for Universities of Applied Sciences, UASNET), cujos objetivos incluem a transferência de competências profissionais e a integração da investigação aplicada na sua missão educativa a nível profissional e tecnológico.

Fundado em 1983, o IPB é constituído por seis escolas; quatro no Campus de Bragança, uma em Mirandela e outra em Chaves.

Escola Superior Agrária de Bragança (ESA);

Escola Superior de Comunicação, Administração e Turismo de Mirandela (EsACT);

Escola Superior de Educação de Bragança (ESE);

Escola Superior de Saúde de Bragança (ESSa);

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança (ESTiG).

Mas para além destes a outros edifícios que fazem parte do campus como os polidesportivos 1 e 2, os Domus (feminino, masculino e 3) e Gulbenkian. O objetivo desse projeto é estudar os perfis de consumo e Caracterização dos consumos energéticos por edifício do IPB e fazer possíveis dimensionamentos para melhor desempenho do fornecimento de energia ao campus.

Este projeto utiliza-se dados de consumos do ano de 2022, em que foram tirados de 15 em 15 minutos ao longo de um ano. Com várias análises feitas dividindo-os por mês de acordo com o consumo de dia e noite, obteve-se os consumos por cada edifício.

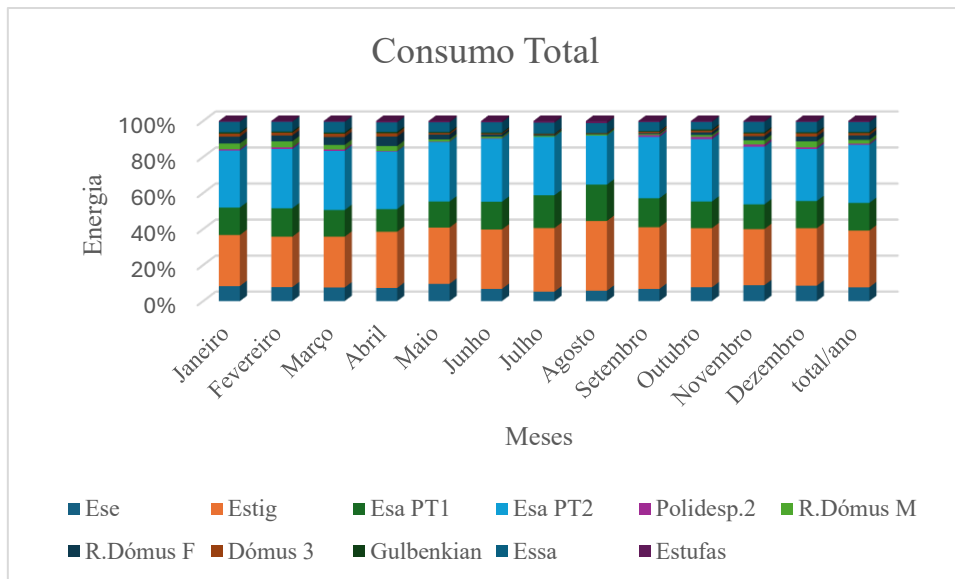


Figura 13-Consumo Total em cada Edifício; Fonte: Própria.

3.1 Metodologia

- **Coleta de Dados de Consumo:**

Inicialmente, foram fornecidos dados de consumo energético anual de cada edifício do IPB, registados em intervalos de 15 minutos. Esses dados foram analisados individualmente, permitindo a geração de gráficos mensais para visualizar os padrões de consumo.

- **Análise de Irradiação Solar:**

Posteriormente, foi realizada a análise das horas de sol nos períodos de inverno e verão, com o objetivo de definir os horários de consumo diurno e noturno. Essa divisão foi essencial para calcular a potência necessária para atender ao consumo, facilitando o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

- **Escolha de Software de Dimensionamento:**

Optou-se pelo uso do PVsyst e Sunny Design, umas ferramentas amplamente utilizadas para simulações e dimensionamentos de sistemas solares fotovoltaicos.

- **Disposição dos Módulos Fotovoltaicos:**

Para o planeamento da instalação dos módulos solares, utilizou-se o software Sunny Design, que permite modelar a disposição física e elétrica dos equipamentos de forma eficiente.

- **Avaliação Final:**

Na etapa final, os resultados do projeto serão avaliados, verificando se os objetivos iniciais foram atingidos e identificando possíveis dificuldades ou limitações encontradas ao longo do desenvolvimento do sistema.

3.2 Consumos diurnos dos edifícios do IPB (kWh)

Consumo diurno é a quantidade de energia elétrica utilizada durante o período do dia, que normalmente corresponde às horas em que há luz natural, geralmente entre o início da manhã e o final da tarde. Esse consumo tende a ser maior em função das atividades econômicas, comerciais e residenciais, que são mais intensas nesse horário.

Tabela 1- Consumos diurnos do IPB em kWh; Fonte: Própria

MESES	ESSE	ESTIG	ESA PT1	ESA PT2	POLD.2	Dómus M	Dómus F	DOMUS 3	GULBENKIAN	ESSA	ESTUFAS
JANEIRO	41569,00	137136,00	73906,00	157850,00	650,00	12326,00	15611,00	7595,00	2814,64	31183,00	1998,17
FEVEREIRO	32289,18	122783,00	68657,00	149139,00	366,00	11382,00	11382,00	5851,00	2171,06	24690,00	1796,68
MARÇO	55127,79	209040,00	104184,00	246000,00	5688,00	6012,00	14907,00	11348,00	4376,91	45320,00	2921,12
ABRIL	55,82	168125,00	64563,00	176411,00	1385,00	1387,00	13689,00	8587,00	3572,49	30125,00	3826,54
MAIO	58789,45	168248,00	74656,00	184948,00	1097,00	1097,00	6228,00	4478,00	4478,00	31709,00	5103,15
JUNHO	5147,29	155151,00	71292,00	161216,00	3746,00	6981,00	6894,00	5163,00	5147,29	31853,00	7225,31
JULHO	27749,02	40302,00	29183,00	39565,00	17326,00	17814,00	17814,00	8172,00	17601,76	20998,00	18143,58
AGOSTO	66,48	138789,44	64077,00	86141,00	771,00	771,00	1663,00	1663,00	1310,66	1310,66	5860,88
SETEMBRO	68210,53	136752,87	67384,00	155592,00	3257,00	3257,00	2305,00	3130,00	3130,00	22365,00	3265,93
OUTUBRO	73,04	136370,71	74913,00	190308,00	6340,00	6340,00	7017,00	5275,00	2840,04	2656,74	3111,51
NOVEMBRO	73150,71	127190,44	87974,00	220545,00	8872,00	13325,00	12893,00	12893,00	2743,23	41751,00	2792,02
DEZEMBRO	52519,58	85020,95	61273,00	124992,00	1570,00	13325,00	10977,00	9449,00	1998,35	1967,50	2063,11
Toatl	8640,58	33852,28	17542,96	39431,40	1063,92	1958,69	2528,75	1741,75	1087,18	5956,85	1210,58

3.3 Consumos noturnos dos edifícios IPB (kWh)

Consumo noturno é a quantidade de energia elétrica usada durante o período da noite, que vai geralmente do anoitecer até o amanhecer. Esse consumo costuma ser menor do que o consumo diurno porque muitas atividades comerciais e industriais diminuem ou param, e as pessoas estão mais em casa. Por isso, em algumas regiões, a tarifa de energia no período noturno é mais barata para incentivar o uso da eletricidade fora do horário de pico, ajudando a equilibrar a carga no sistema elétrico.

Tabela 2- Consumos noturnos dos IPB; Fonte: Própria

MESES	ESSE	ESTIG	ESA PT1	ESA PT2	POLD.2	Dómus M	.Dómus F	DOMUS 3	GULBENKIAN	ESSA	ESTUFAS
JANEIRO	39561,00	139470,00	74594,00	150022,00	6427,00	18699,00	21455,00	9571,00	9467,47	25521,00	2612,29
FEVEREIRO	38528,82	132957,00	75606,00	151126,00	8088,00	18981,00	18721,00	8551,00	7733,58	24189,00	2749,63
MARÇO	21842,21	75244,00	45773,00	85619,00	2320,00	19316,00	29679,00	7252,00	11234,98	14160,00	1994,65
ABRIL	56639,18	72357,00	32650,00	70310,00	650,00	20053,00	26756,00	6017,00	9245,02	10584,00	2186,08
MAIO	18180,55	81811,00	41407,00	79489,00	995,00	8284,00	15562,00	2480,00	8765,95	11331,00	894,34
JUNHO	44456,71	84827,00	41067,00	93040,00	2635,00	3207,00	2545,00	32187,00	8770,64	9628,00	2179,70
JULHO	9289,98	207199,00	98606,00	187348,00	11006,00	128274,00	280885,00	11622,00	19865,69	21788,00	11604,20
AGOSTO	29637,52	60466,56	39860,00	53745,00	501,00	2533,00	23937,00	37,00	2296,98	26733,34	345,37
SETEMBRO	-24984,53	81119,13	34867,00	61047,00	3227,00	404,00	1414,00	1490,00	5610,00	9134,00	784,13
OUTUBRO	57860,96	110840,29	36774,00	70067,00	3175,00	1768,00	3970,00	2407,00	7489,09	28842,26	944,56
NOVEMBRO	7291,29	157016,56	36964,00	71270,00	2583,00	8060,00	7377,00	1064,00	8557,11	11410,00	1633,12
DEZEMBRO	18139,42	176894,05	62785,00	112399,00	6201,00	13545,00	11311,00	5010,00	6821,17	45059,50	2558,92
Total	6592,56	28754,20	12936,52	24697,54	996,00	5065,08	9241,92	1826,83	2205,37	4966,25	635,15

3.4 Cálculo de dimensionamento para Escola Superior de Educação de Bragança (ESE)

Importante realçar que este é apenas um exemplo para uma das escolas, mas foi feito o mesmo processo para todos os outros restantes.

1. Como já tinha os dados do consumo do ano de 2022 disponíveis, em que o consumo médio:

$$\text{Consumo médio mensal} = \frac{\text{Soma dos consumos dos 12 meses}}{12} = \frac{103686,96}{12}$$

$$\text{Consumo médio} = 8640,58 \text{ kWh/mês} \quad (3.1)$$

2. Verificação das horas de sol pleno (HSP) em Bragança no PVGIS, em que:

$$\text{HSP} = 4,74$$

3. Energia Diária

$$\text{Energia diária (Ed)} = \frac{\text{Consumo médio mensal}}{30} = \frac{8640,58}{30}$$

$$\text{Energia diária} = 288,01 \text{ kWh/dia} \quad (3.2)$$

4. Cálculo da Potência de pico total do sistema: (3.3)

$$PFv = \frac{Ed}{\text{HSP} * \eta} = \frac{288,01}{4,74 * 0,8} = 75,9 \text{ kWp}$$

Onde:

PFv – Potência total do sistema em kWp

Ed – Energia diária em kWh/dia

HSP – Horas de sol pleno

η – Rendimento global do sistema

5. Quantidade de módulos a ser instalado na ESE: (3.4)

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{PFv * 1000}{\text{Potência do módulo}} = \frac{75,9 * 1000}{550 \text{ Wp}} = 138 \text{ módulos}$$

6. Escolha do inversor é importante saber que a potência nominal do inversor deve ser próxima ou até 20% inferior à potência do arranjo.

3.5 Dimensionamento e Caracterização do consumo em cada edifício

A tabela apresentada descreve o dimensionamento e a caracterização dos sistemas fotovoltaicos instalados em diversos edifícios. São fornecidas informações detalhadas sobre o consumo anual de energia elétrica (diurno e noturno), a potência instalada e contratada, bem como o número de módulos fotovoltaicos utilizados, a potência de cada módulo, e os modelos dos módulos e inversores aplicados. Esses dados permitem uma análise técnica da capacidade de geração de energia solar em cada unidade, contribuindo para a eficiência energética e sustentabilidade das instalações.

Tabela 3 - Dimensionamento e caracterização de cada edifício; Fonte: Própria;

Edifícios	Consumo Diurno Anual(kWh)	Consumo Noturno Anual(kWh)	Potência instalada (kWp)	Potência contratada (kW)	Número de módulos	Potência de cada Módulo (Wp)	Modelo do Módulo	Modelo do Inversor
ESE	8640,58	6592,56	70,40	113,00	128	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-30 KTL-M3
ESTIG	33852,28	28754,20	251,00	231,43	456	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-60 KTL-M0
ESA PT1	17542,96	12936,52	141,00	115,61	256	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-30 KTL-M3
ESA PT2	39431,40	24697,54	330,00	289,04	600	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-110KTL-M0
Polidesportivo 2	1063,92	996,00	8,80	50,00	16	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-4KTL-L1
Domus M	1958,69	5065,08	17,60	41,41	32	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-10KTL-M2
Domus F	2528,75	9241,92	22,00	41,41	40	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-10KTL-M1
Domus Professores	1741,75	1826,83	15,40	41,41	28	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-15KTL-M2
Gulbenkian	1087,18	2205,37	10,00	20,70	18	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-8KTL-M1
ESSA	5956,85	4966,25	48,40	66,00	88	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-12KTL-M5
Estufas	1210,58	635,15	11,00	20,70	20	550	JAM72- S30-550-MR	SUN2000-10KTL-M1

3.6 Dimensões entre os módulos

A correta colocação dos módulos é fundamental, visto que, tem de ter uma distância adequada entre os módulos para que não haja sombreamento entre eles para diminuir a eficiência do sistema. Para o projeto utilize-se um espaçamento entre linhas de $z = 140$ cm, espaçamento entre colunas de 20 cm e espaçamento entre obstáculos de 50cm com exceção do Dumos Masculino e O Domus Masculino.

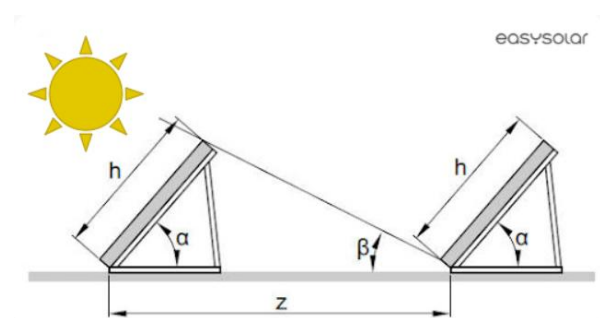


Figura 14-Distância Mínima Entre Painéis Solares. Fonte: <https://easysolar.app/en/shading-calculator/>

z – Distância entre linhas (m),

α – Ângulo de inclinação do painel

h – Altura dos painéis com a base da estrutura de suporte (m),

β – O ângulo de incidência da luz solar no solstício de inverno.

Mas é de realçar que a edifícios que é impossível seguir essas medidas, visto que, tem um telhado pequeno e de difícil acesso. Como no caso de ESSa os módulos foram colocados verticalmente, isto porque o espaço era insuficiente.

3.6.1 ESE

Tendo em conta que o telhado é de betão e plano optou-se por usar uma pequena estrutura de ferro e colocar os módulos com a devida inclinação de 35°C e azimute 0°C. A área disponível é suficiente para suprimir a necessidade de consumo da ESE com o dimensionamento do sistema fotovoltaico. O dimensionamento do sistema fotovoltaico revelou-se eficiente, resultando num layout bem otimizado e tecnicamente adequado ao espaço disponível. A disposição dos módulos foi cuidadosamente planejada, maximizando a captação da radiação solar ao longo do dia e minimizando perdas por sombreamento ou orientações desfavoráveis.



Figura 15-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design na ESE;

3.6.2. ESTIG

Tendo em conta que o telhado é plano e de betão também se optou por usar uma instrutura de ferro com a devida inclinação dos módulos para o melhor aproveitamento do sistema. A área disponível foi suficiente para acomodar a potência a ser instalada, apresentando poucas interferências que pudessem comprometer a eficiência da produção.

Este bom layout contribui diretamente para o aumento da eficiência energética do sistema, facilita a manutenção preventiva e corretiva, e permite uma integração harmoniosa com a infraestrutura existente. Devido as platibandas que se utilizou-se uma distância maior para evitar o sombreamento.



Figura 16-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design no ESTIG;

3.6.3. ESA PT1

O principal desafio deste dimensionamento está relacionado com a orientação dos módulos, que ficam voltados para o norte, resultando em maior produção apenas a partir das 12 horas. Além disso, o telhado apresenta um risco adicional, pois é composto por amianto, um material conhecido por suas propriedades cancerígenas. O amianto é uma fibra mineral que, quando danificada ou manipulada de forma inadequada, libera partículas que podem ser inaladas, causando sérios problemas respiratórios, incluindo doenças pulmonares graves e câncer, como o mesotelioma.

Devido a esses riscos à saúde, qualquer intervenção ou manutenção no telhado deve ser realizada exclusivamente por equipes ou empresas especializadas, devidamente treinadas e autorizadas para lidar com materiais contendo amianto, garantindo a segurança dos trabalhadores e a conformidade com as normas regulamentadoras. Em termos do layout ficaram bem organizadas e com boa disposição para a captação solar a partir de certo horário.



Figura 17-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design na ESA PT1

3.6.4. ESA PT2

Devido ao número elevado de módulos e à área disponível limitada, optou-se por dividir a instalação entre dois locais. Foram instalados cerca de 195 módulos, com potência total de 107,25 kWp na cantina do Instituto Politécnico de Bragança, já os restantes 405 módulos com a potência de 222,75 kWp, foram colocados na ESA.

Considerando que o telhado da ESA é de betão e plano, enfrentou-se o desafio da insuficiência de área para a instalação da potência desejada. Por esse motivo, decidiu-se instalar parte dos módulos na cantina, cujo telhado difere dos anteriores tanto pelo material quanto pela inclinação. O layout final revelou-se equilibrado e funcional, respeitando as condicionantes arquitetónicas e estruturais, enquanto assegura facilidade de manutenção.



Figura 18- Dimensionamento dos módulos no Sunny Design no ESA 2 e Cantina;

3.6.5. Gulbenkian

No caso do edifício Gulbenkian, o telhado apresenta-se com uma inclinação acentuada e de difícil acesso, o que limitou significativamente a área útil para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Estas restrições resultaram numa disposição dos painéis menos uniforme e com menor apelo estético, comprometendo parcialmente a eficiência do sistema devido à orientação e sombreamento de alguns módulos. Perante estas limitações, uma solução a considerar seria a instalação de estruturas metálicas de suporte que permitam ajustar a inclinação dos módulos para uma orientação solar mais favorável.



Figura 19- Dimensionamento dos módulos no Sunny Design do Gulbenkian;

3.6.6 Estufas

Considerando que o telhado é plano ideal para a instalação de painéis fotovoltaicos com estrutura de suporte ajustável como mostra a imagem abaixo, não há presença evidente de sombras projetadas sobre os painéis (como de árvores ou de partes do próprio edifício), o que é essencial para melhor desempenho do sistema. O layout ficou excelente e importante saber que a áreas disponíveis que podem ser úteis para trabalhos futuros em caso de aumentarem o consumo.



Figura 20-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design das ESTUFAS do IPB;

3.6.7 ESSa

Como a área disponível era pequena, foi instalado módulos na vertical para aumentar a quantidade de painéis e, assim, suprir melhor o consumo. Quanto ao telhado, trata-se de um telhado plano, também chamado de terraço ou cobertura plana, bastante comum em edifícios institucionais. Esse tipo de telhado facilita a instalação dos sistemas fotovoltaicos, pois permite o uso de estruturas ajustáveis que direcionam os módulos na inclinação e orientação ideais.

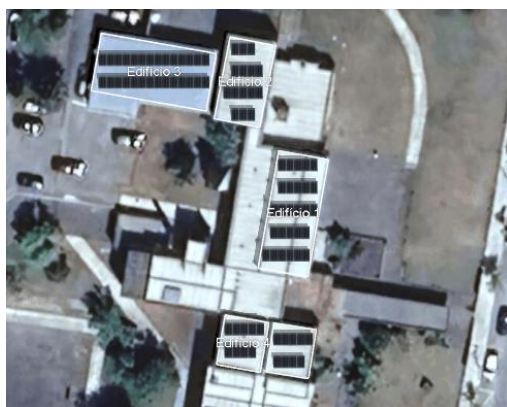


Figura 21-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design das ESSA do IPB

3.6.8 Domus Masculino (Residência universitária para estudantes)

Para este caso fez o dimensionamento de duas formas para ver qual seria a melhor solução, em que se fez no PVsyst com a inclinação de 35° e azimute de 0° , com o número de módulos de 32 e com uma produção de 27645 kWh. Conforme ilustrado na imagem abaixo, a localização do sistema não é ideal para otimizar seu desempenho, pois foi necessário instalar os módulos com uma inclinação de 31° e um azimute de -176° . Dessa forma, a produção obtida foi de 20166 kWh, utilizando 40 módulos orientados para o norte. Conclui-se que a orientação e inclinação dos módulos têm um impacto direto e significativo na eficiência do sistema, sendo preferível, em muitos casos, uma instalação com menos módulos, mas melhor posicionados, do que uma configuração com mais módulos mal orientados. Isso também afetou a distância entre os módulos que teve de ser diferente para esta situação.



Figura 22-- Dimensionamento dos módulos no Sunny Design das Domus masculino do IPB;

3.6.9. Domus Feminina (Residência universitária para estudantes)

O telhado é inclinado em várias águas (várias faces inclinadas em direções diferentes), muito comum em edifícios antigos ou residenciais, cada área identificada na imagem tem

orientação e inclinação próprias, o que afeta diretamente a captação solar, mas também afeta diretamente no layout dos módulos que se torna mais complexo.

A orientação para o sudeste proporciona boa captação solar durante o período da manhã, sendo adequada para perfis de consumo matinais. Já a orientação para o noroeste concentra maior incidência solar no período da tarde, embora apresente perdas significativas nas horas da manhã. A orientação sudoeste oferece excelente captação solar no período da tarde, sendo ideal para residências com perfil de consumo vespertino. Por sua vez, a orientação nordeste apresenta ótima captação durante a manhã, mas sofre redução no rendimento ao longo da tarde.

Essa variação nas orientações possibilita a otimização do sistema fotovoltaico, alinhando a geração de energia com os diferentes perfis horários de consumo, o que contribui para um aproveitamento mais eficiente da energia produzida.



Figura 23-Dimensionamento dos módulos no Sunny Design das Domus F do IPB;

3.6.10. Domus 3 (Residência universitária para professores)

A análise da área da Residência universitária dos professores, indica que a instalação de módulos fotovoltaicos não é viável. Primeiramente devido à escassez de espaço disponível representa um obstáculo significativo, impossibilitando a acomodação de um número adequado de módulos que atendam à potência requerida pelo projeto. Além disso, a localização da área apresenta orientações desfavoráveis, como azimute e inclinação inadequados, que comprometem a captação solar direta e reduzem consideravelmente o rendimento energético do sistema.

Outros fatores que influenciam negativamente a viabilidade incluem a presença de sombreamentos causados por estruturas vizinhas, elementos arquitetônicos, que limitam a exposição dos módulos à radiação solar ao longo do dia. Também deve-se considerar

aspectos relacionados à acessibilidade para instalação e manutenção, que, se restritos, elevam os custos operacionais e aumentam os riscos durante intervenções técnicas.

Diante dessas restrições, conclui-se que a área estudada não atende aos critérios mínimos para a instalação eficiente e segura de um sistema fotovoltaico, recomendando-se a busca por locais alternativos que ofereçam condições mais favoráveis para maximizar o desempenho e a sustentabilidade do projeto.

3.6.11. Polidesportivo 2

Optou-se por não realizar a instalação de módulos fotovoltaicos nesta área devido a diversas limitações, sendo uma das principais a incompatibilidade entre o perfil de consumo e a geração de energia. O consumo apresenta-se significativamente maior durante o período noturno, enquanto a produção fotovoltaica ocorre exclusivamente durante o dia. Para suprir essa demanda fora do horário de geração, seria necessário o uso de um sistema de armazenamento por baterias.

No entanto, a inclusão de um banco de baterias eleva consideravelmente os custos iniciais e de manutenção do projeto, comprometendo sua viabilidade econômica. Além disso, o retorno sobre o investimento seria desfavorável, visto que o custo associado ao armazenamento não seria compensado pela redução nas despesas com energia elétrica.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 ESE

O gráfico mostra claramente que a maior parte da energia é entregue, o que é positivo. Como esperado, a produção é mais alta nos meses abril a agosto, naturalmente por causa da localização no hemisfério Norte. Esses valores são obtidos do dimensionamento no Pvsyst. Onde nos fornece dados no Excel de 1h em 1h, esses são convertidos para 15 em 15 minutos para sabermos a real produção.

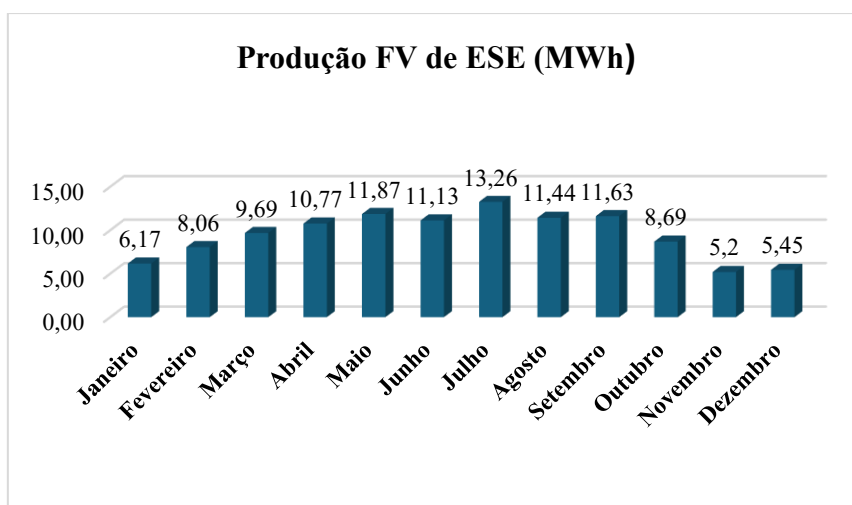


Figura 24-Produção FV da ESE; Fonte: Própria;

A queda nos meses de dezembro e janeiro pode estar associada a maior nebulosidade, o que afeta negativamente a eficiência dos módulos. No gráfico dos consumos a maior consumo nos meses de dezembro a março e maio, e com menor consumo devido as férias nos meses de junho e julho.

No gráfico abaixo apresenta-se os valores dos consumos em megawatts hora (MWh), enquanto nas tabelas acima apresenta-se os valores dos consumos diurnos em quilowatts hora (kWh) na tabela em cima.

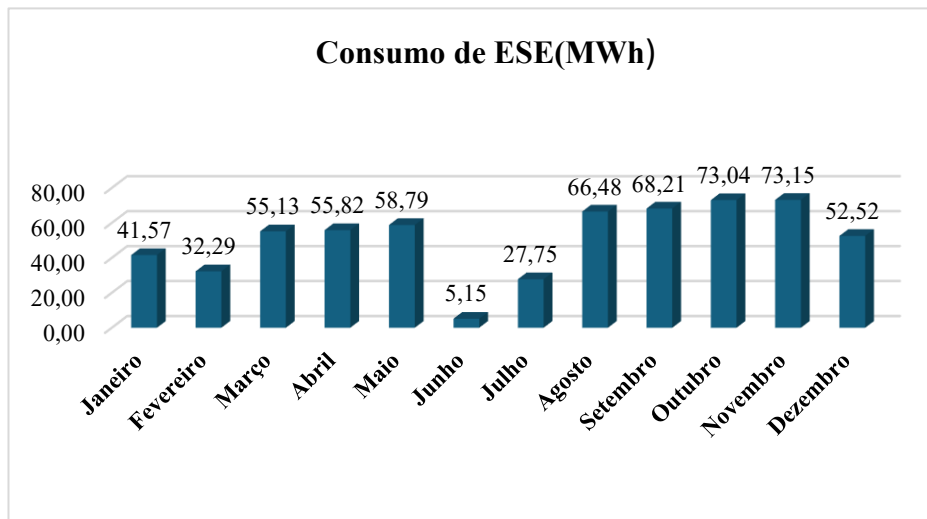


Figura 25-Consumo da ESE; Fonte: Própria;

Depois de várias etapas concluídas, analisaremos agora a viabilidade do projeto, isto é, de acordo com o dimensionamento feito no PVsyst obteve-se um ótimo PR anual (83,45%), indicando sistema bem projetado, boa produção específica anual e perdas do sistema e de coleta bem controladas e consistentes.

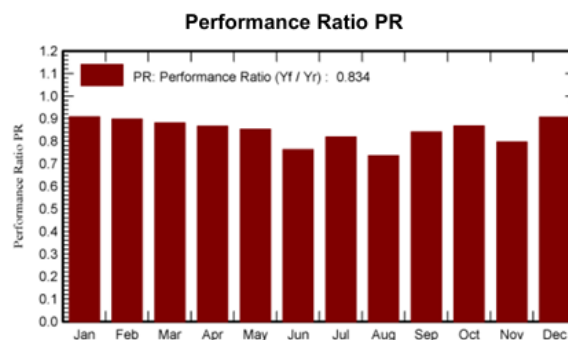


Figura 26- Rácio de performance; Fonte: PVsyst;

4.2 ESTiG

A geração é mais elevada entre outubro e março, correspondendo naturalmente à primavera-verão, com maior incidência solar.

O consumo apresenta uma distribuição relativamente constante ao longo do ano, com valores ligeiramente mais elevados entre outubro e março, exceto o mês de julho o que pode estar relacionado com o uso acrescido de sistemas de climatização ou iluminação durante os meses de inverno e outono. O consumo no mês de julho é muito baixo devido as férias.

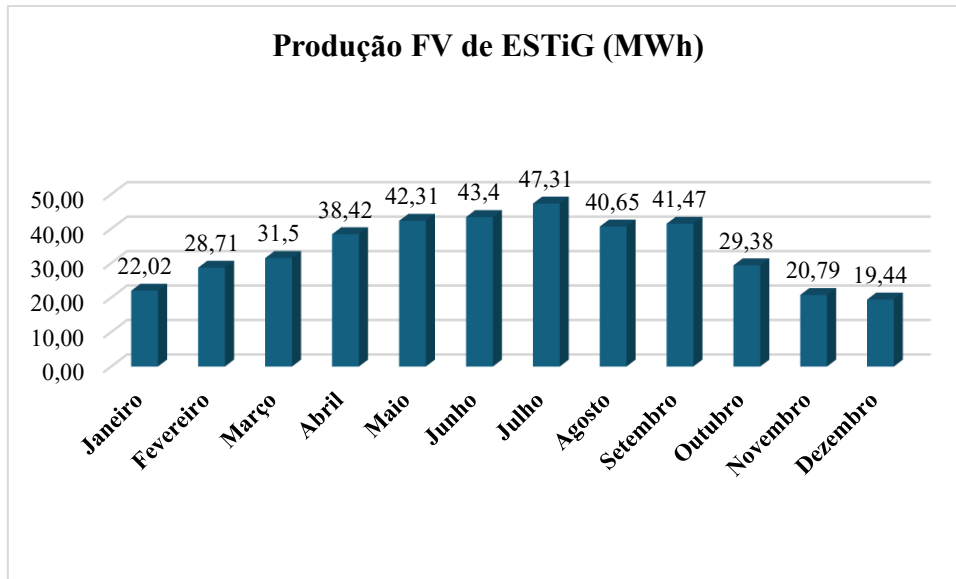


Figura 27-Produção FV da ESTiG; Fonte: Própria;

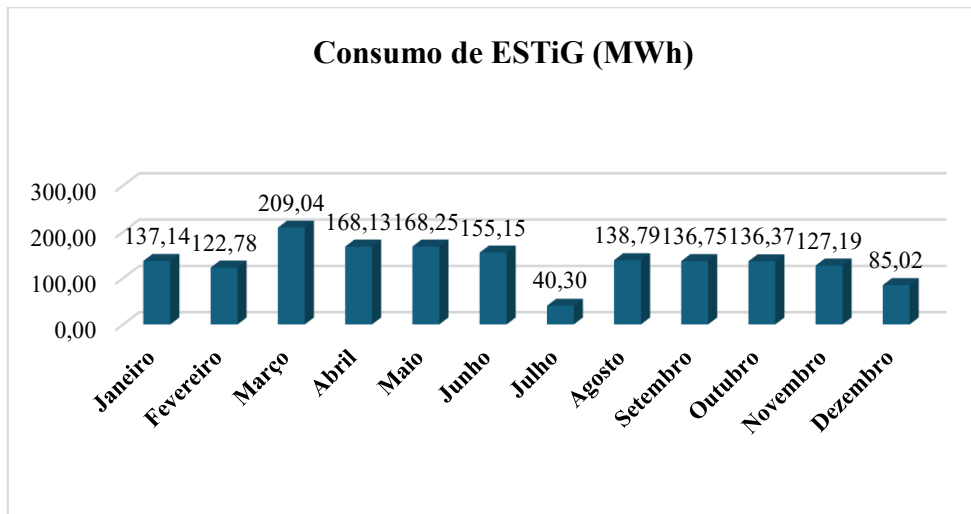


Figura 28-Consumo para ESTiG; Fonte: Própria;

A maior parte da energia gerada é convertida em energia útil (Yf), o que é positivo, logo teremos excelentes índice de performance anual (0,838), perdas sistemáticas baixas e consistentes e produção útil expressiva e compatível com a sazonalidade solar.

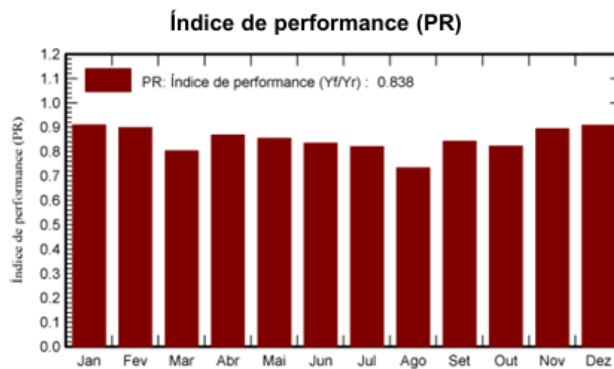


Figura 29-Rácio de performance de ESTiG; Fonte: Pvsyst;

4.3 ESA PT1

A Energia produzida no ESA PT1 é de 226,18 MWh/ano e a Produção específica 1606 kWh/kWp/ano. Enquanto o consumo total diurno é de 210,52 MWh/ano, constata-se que a energia gerada é suficiente para suprir integralmente as necessidades energéticas diurnas da unidade, com uma margem excedente. Esta relação favorável entre produção e consumo sugere que o sistema fotovoltaico foi bem dimensionado e otimizado para o perfil de consumo da instalação, promovendo uma elevada taxa de autoconsumo e contribuindo significativamente para a redução da dependência da rede elétrica e das emissões associadas à geração convencional de energia.

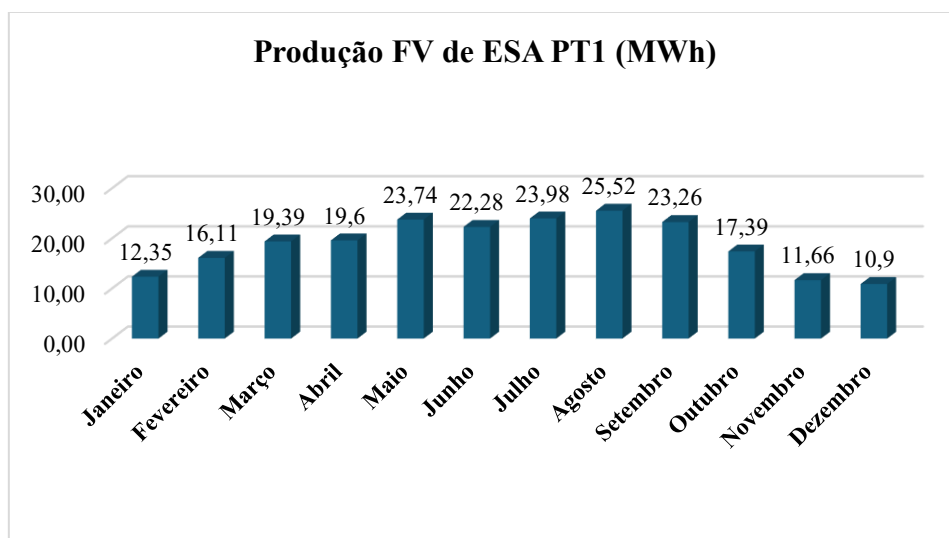


Figura 30-Produção FV de ESAPT1; Fonte: Própria;

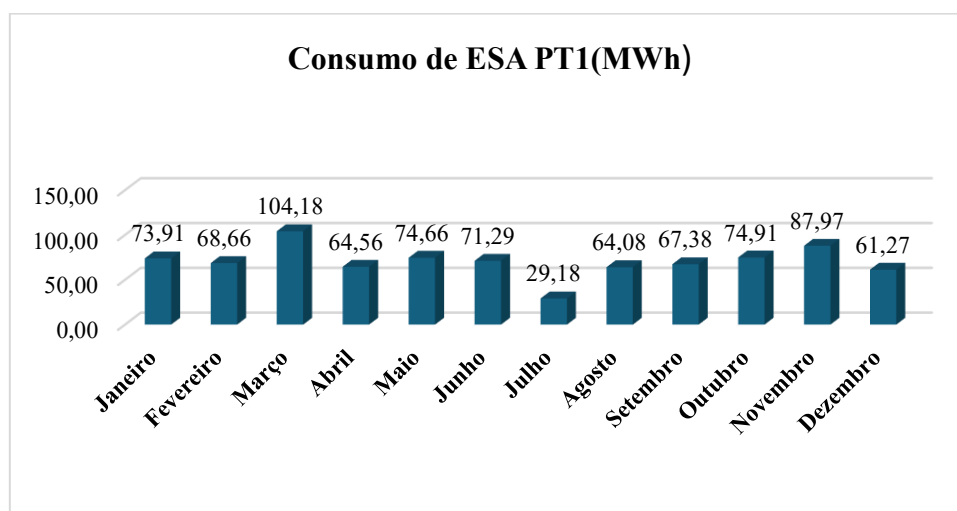


Figura 31-Consumo de ESA PT1; Fonte: Própria;

O PR é mais baixo nos meses junho-julho, provavelmente por efeito da temperatura elevada dos módulos, ângulos de incidência solar menos favoráveis durante determinadas horas do dia, ou a eventual acúmulo de sujeira.

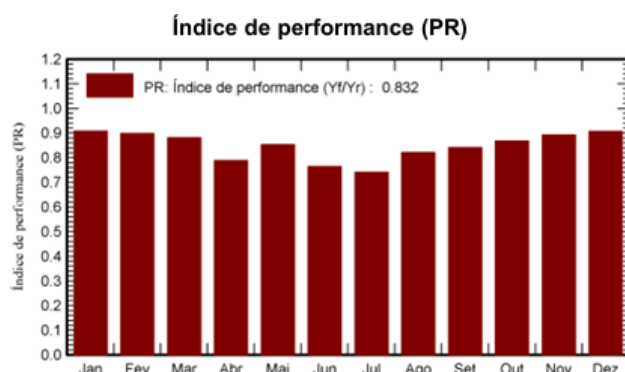


Figura 32-Rácio de performance de ESA PT1; Fonte: Pvsyst;

A energia útil representa a maior parte da produção, o que é um ótimo sinal de eficiência. Como se pode constatar na tabela acima temos uma temperatura para painéis solares, o Globlnc (inclinação dos módulos) excelente, mostra que a inclinação dos módulos está bem otimizada. A Energia entregue à rede (E_Grid) é de 226,18 MWh.

4.4 ESA PT2

A Energia produzida no ESA PT2 é de 531,98 MWh/ano e a produção específica do ESA PT2 é de 555,10 kWh/kWp/ano. A maior produção ocorre nos meses de março á setembro devido a temperatura mais elevada, ou seja, no verão.

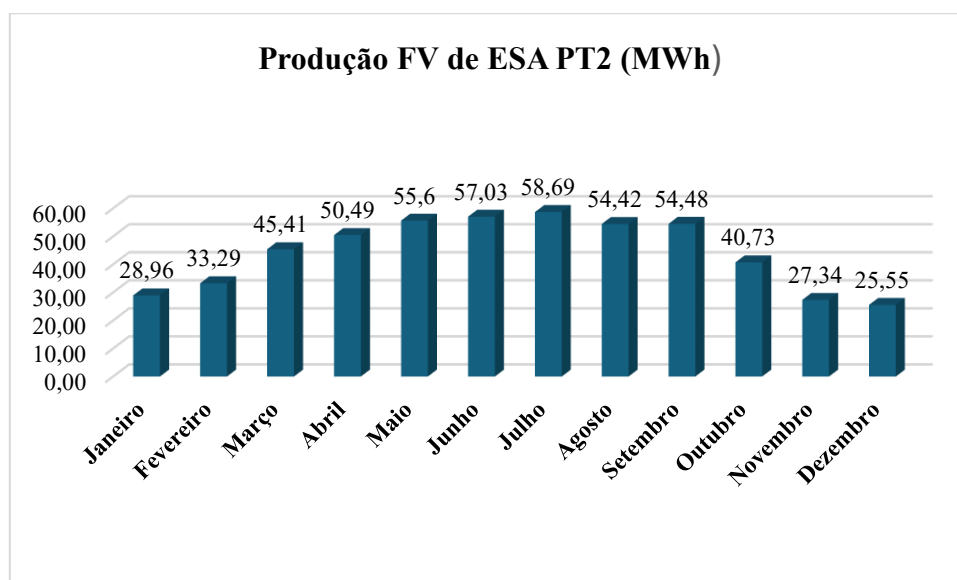


Figura 33-Produção FV de ESA PT2; Fonte: Própria;

Enquanto o consumo total diurno é de 473,18 MWh/ano, constata-se que a energia gerada é suficiente para suprir integralmente as necessidades energéticas diurnas da unidade, com uma margem excedente, promovendo uma elevada taxa de autoconsumo.

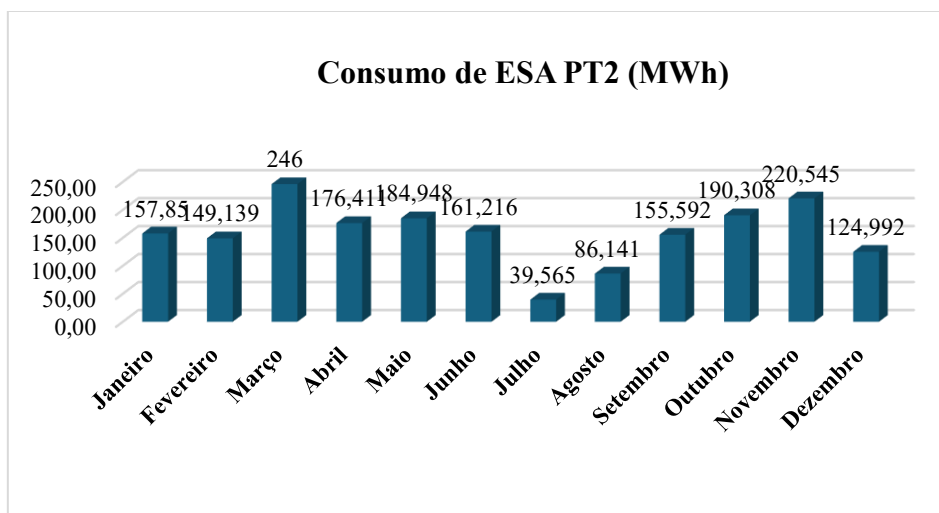


Figura 34-Consumo de ESA PT2; Fonte: Própria;

Os meses com menor PR são julho e agosto coincidem com altas temperaturas isso pode causar essa queda na eficiência dos módulos.

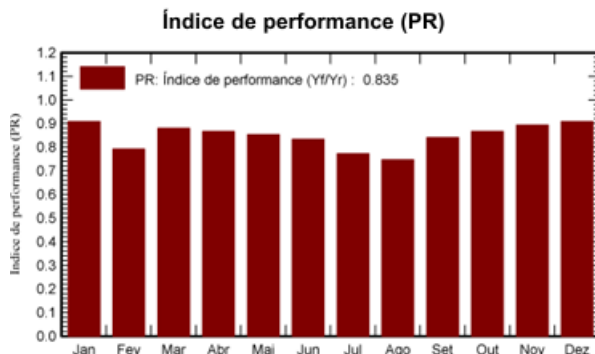


Figura 35-Rácio de performance de ESA PT2; Fonte: Pvsyst.

Como podem observar na tabela acima nosso sistema apresenta pontos positivos como uma alta eficiência (PR > 83% anual), perdas baixas e constantes, boa radiação incidente (módulos bem posicionados) e Conversão e entrega à rede eficiente. Há uma correlação clara entre maior irradiância e maior geração bruta de energia (EArray), embora o PR nem sempre acompanhe esse crescimento, reforçando o impacte de fatores térmicos e operacionais.

4.5 Gulbenkian

A produção útil de energia (Y_f) varia significativamente ao longo do ano, com maior desempenho nos meses de abril a setembro, atingindo o pico em julho ($Y_f \approx 7,6 \text{ kWh/kWp/dia}$). Os meses com menor produção são janeiro, novembro e dezembro, o que é compatível com a menor irradiância solar nesses períodos visto que é inverno. A produção total é de 15,72 MWh/ano relacionando com o consumo diurno que é de 13,05 MWh/ano, dá para suprimir esse consumo e ainda com excedentes. Para melhor desempenho para suprimir a noite pode-se pensar no armazenamento.

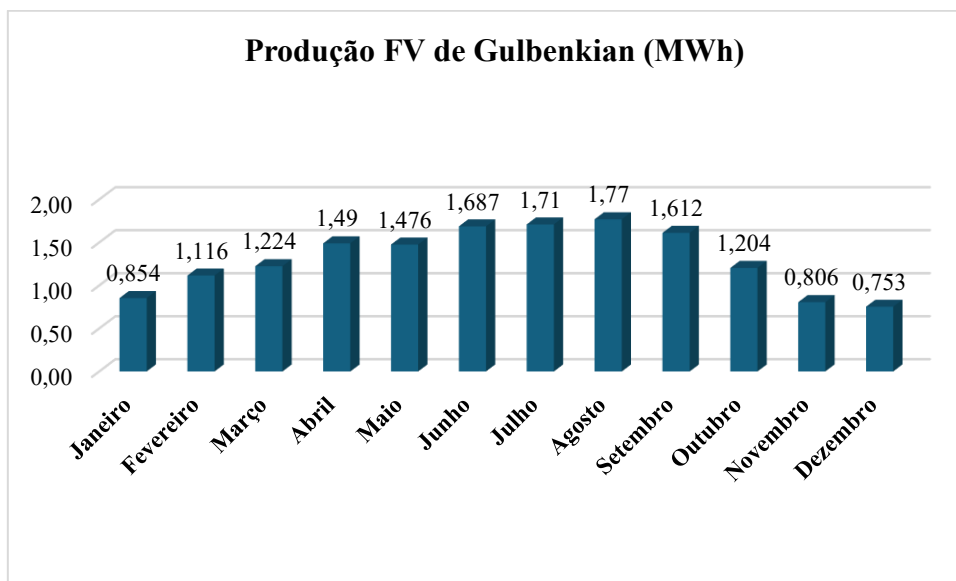


Figura 36- Produção FV de Gulbenkian; Fonte: Própria;

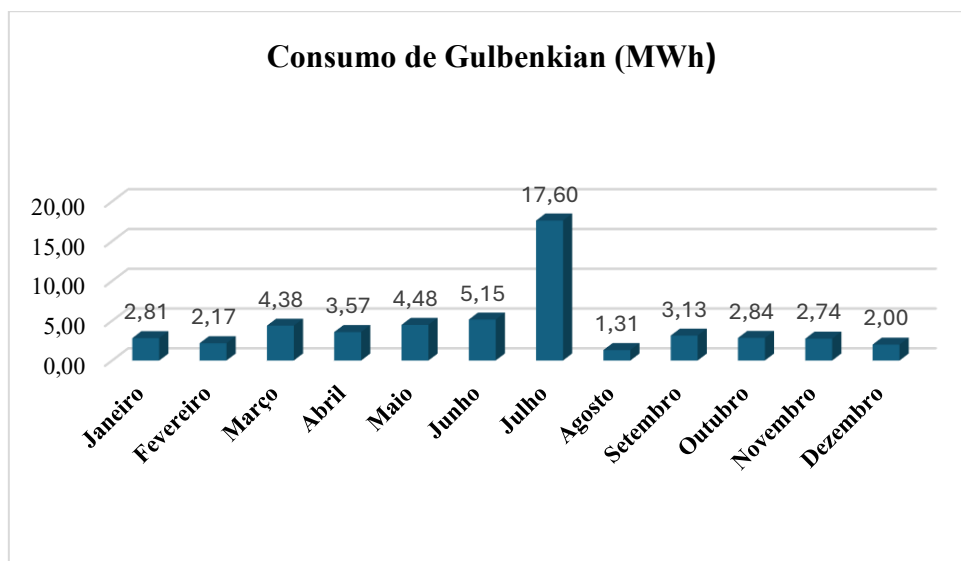


Figura 37-Consumo de Gulbenkian; Fonte: Própria;

O sistema fotovoltaico analisado apresenta bom desempenho geral, com PR anual de 0,822 e perdas operacionais dentro dos padrões aceitáveis. A variabilidade sazonal é esperada e bem refletida nos dados. Contudo, os meses de maior temperatura mostram queda no PR, sugerindo que medidas de mitigação térmica (como ventilação ou escolha de módulos com coeficiente térmico mais baixo) poderiam ser benéficas.

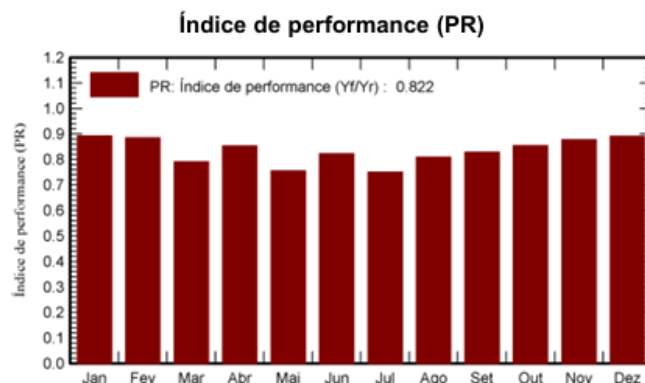


Figura 38-Rácio de performance de Gulbenkian; Fonte: Pvsyst.

A irradiância global horizontal (GlobHor) e inclinada (GlobInc) são mais altas entre maio e agosto, com o pico em julho (241,5 kWh/m²). Há uma correlação clara entre maior irradiância e maior geração bruta de energia (EArray), embora o PR nem sempre acompanhe esse crescimento, reforçando o impacto de fatores térmicos e operacionais.

4.6 Estufas

A produção útil normalizada (Yf) é mais alta nos meses com maior irradiância (maio a agosto) e mais baixa no inverno. O pico de produção ocorre em julho (aproximadamente 6,7 kWh/kWp/dia), enquanto os meses com menor produção são dezembro e janeiro. A produção é de 17,442 MWh/ano e o consumo diurno nas estufas é de 14,53 MWh/ano, quer dizer que suprime o consumo diurno e ainda terão excedentes.

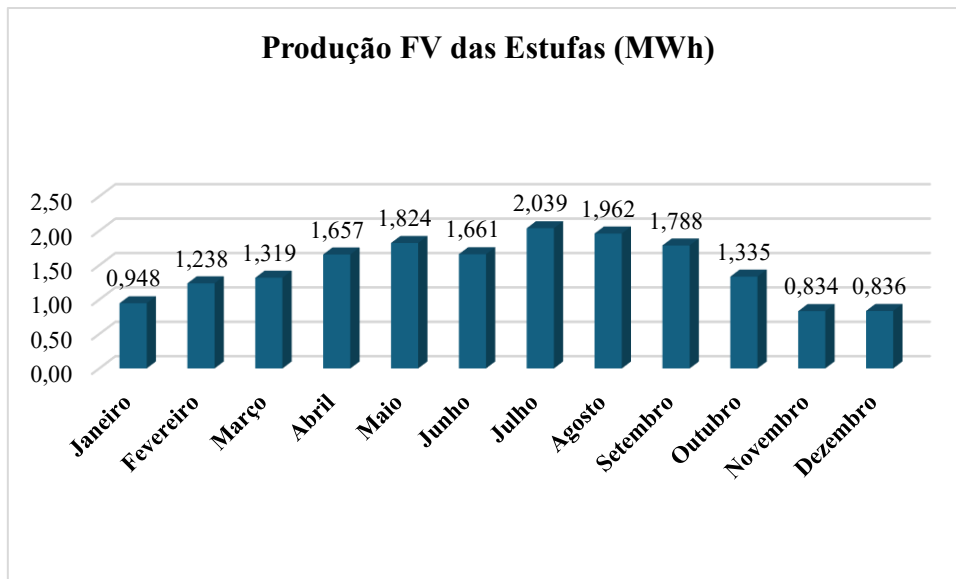


Figura 39-Produção FV de Estufas; Fonte: Própria;

Observe-se que o consumo pode ser suprimido com a produção, exceto no mês de julho isto devido as altas temperaturas neste mês, logo a maior necessidade de água.

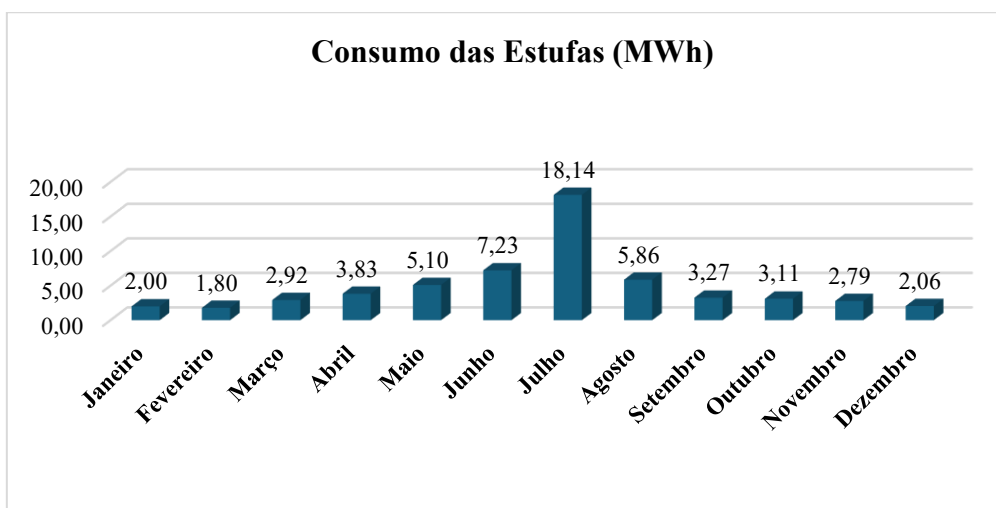


Figura 40-Consumo de Estufas; Fonte: Própria;

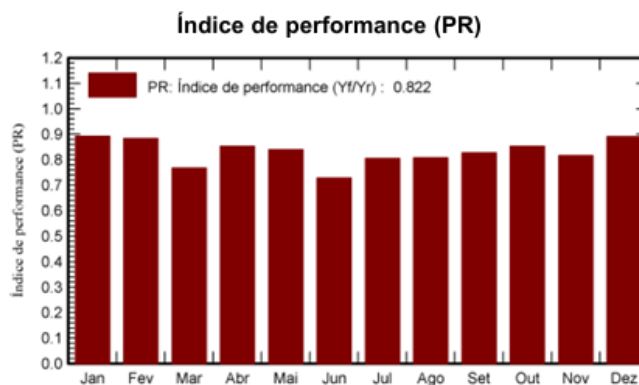


Figura 41-Rácio de performance das Estufas; Fonte: PVsyst

A produção anual é de 18.486 kWh, com 17.442 kWh injetados na rede onde temos uma perda total de aproximadamente 5,6%, que é aceitável para sistemas bem projetados.

4.7 ESSa

Como podem ver no gráfico das produções FV a maior geração ocorre de março a setembro, a baixas perdas indicam um sistema bem dimensionado e eficiente. A produção é de 77,357 MWh/ano e o consumo diurno é de 71,48 MWh/ano.

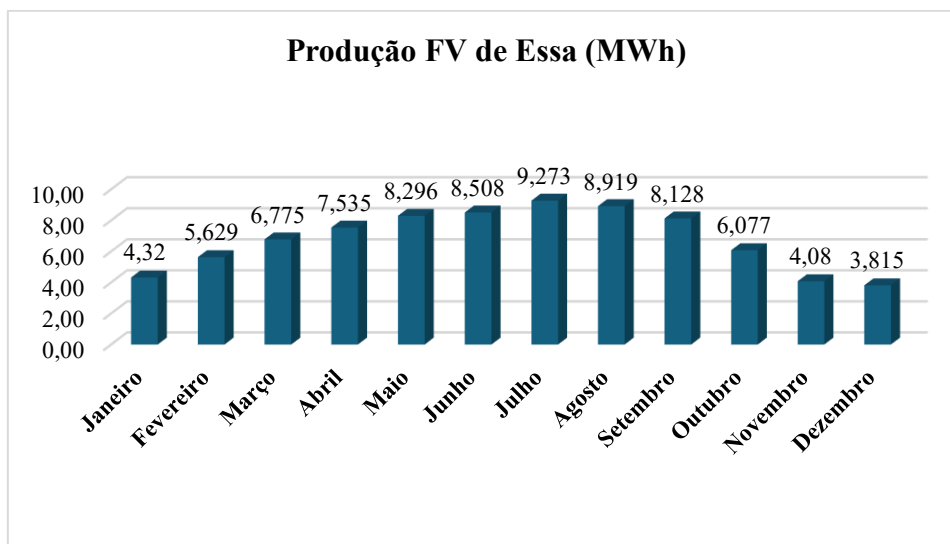


Figura 42-Produção FV de Essa; Fonte: Própria;

Observe-se que o consumo é maior nos meses de janeiro, março, junho e novembro isto devido a decorrência de aulas, logo a maior circulação de estudantes, aumentando o consumo desde a iluminação, aquecimento e refrigeração entre outras atividades.

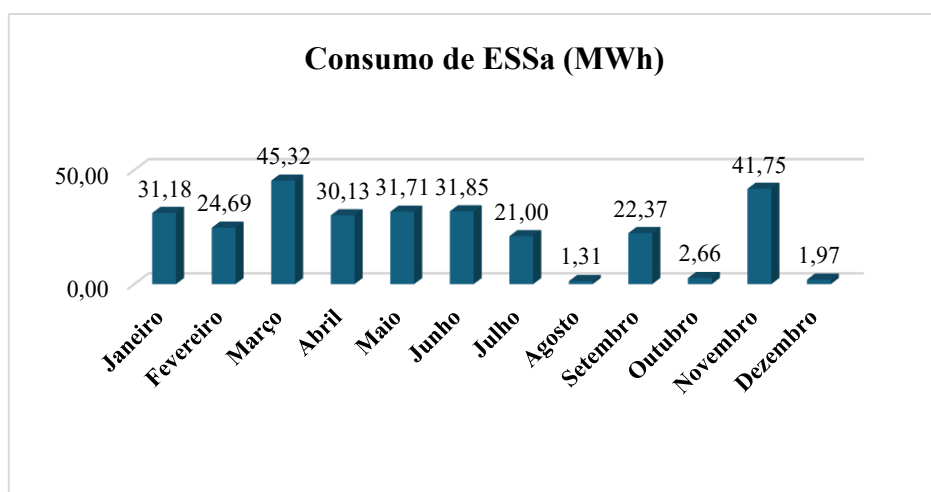


Figura 43-Consumo de Essa; Fonte: Própria;

O PR médio anual é de 0,828 que significa que o sistema está a funcionar com alta eficiência.

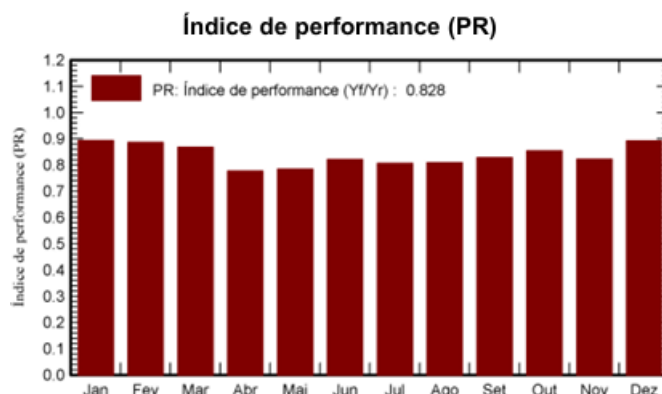


Figura 44-Rácio de performance de Essa; Fonte: Pvsyst;

Observe-se na tabela abaixo a radiação solar anual é excelente de 1930 kWh por metros quadrados, a temperatura é moderada, as perdas são baixas podendo afirmar que a energia injetada a rede é quase igual a produzida apenas com 5 % de perdas, considerando assim que está bem dimensionado.

4.8 Domus M (Residência Universitária para estudantes)

A produção útil diária (Yf) normalizada por kWp instalado apresenta seu pico entre julho e agosto enquanto a menor produção ocorre em dezembro, com valores inferiores a o que é esperado devido à menor irradiância solar no inverno. O sistema apresenta boas taxas de produção ao longo do ano, com perdas dentro de padrões aceitáveis.

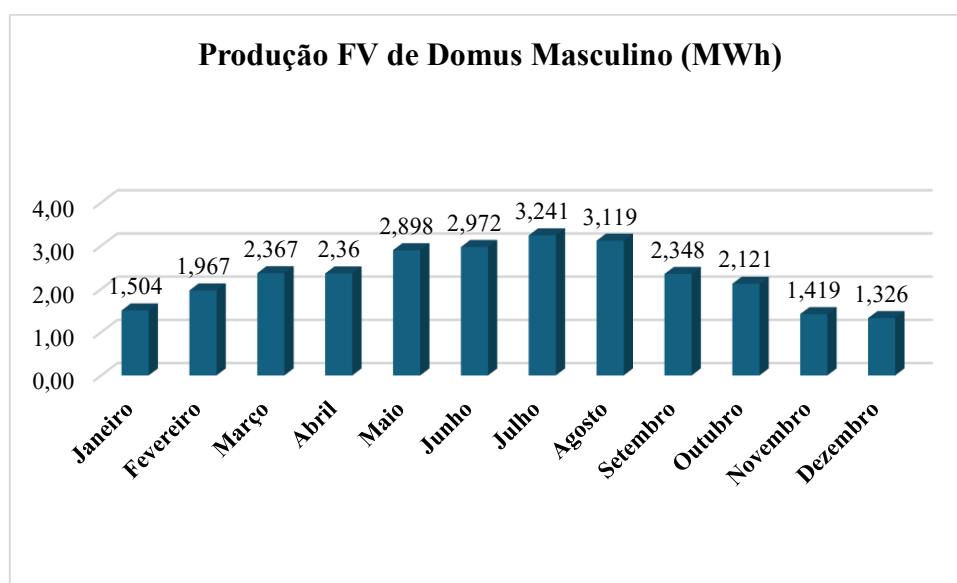


Figura 45-Produção FV de Domus Masculino; Fonte: Própria;

No gráfico dos consumos a um menor consumo a partir dos meses, mas quentes (maio a outubro), isto devido as férias nos meses de (junho á setembro). A produção da Residência universitária masculino é de 27,642 MWh e o consumo do edifício é de 23,50 MWh/ano.

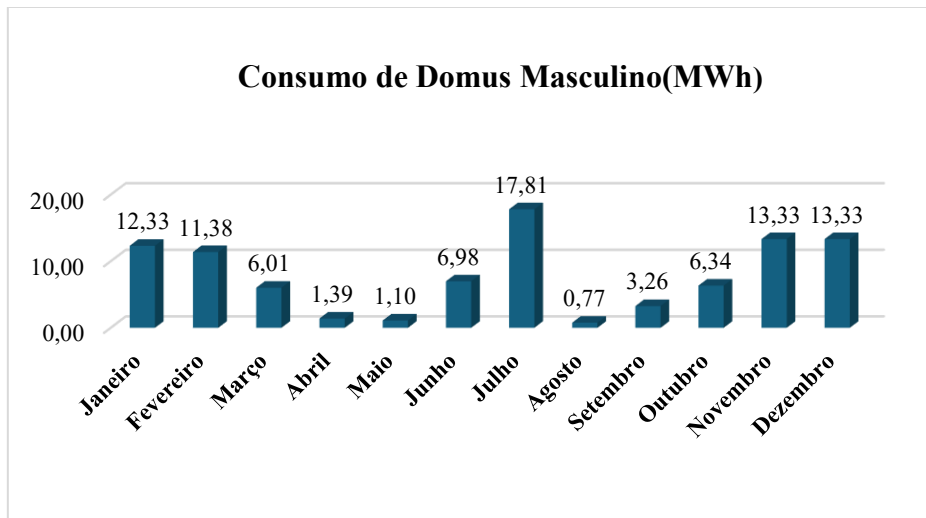


Figura 46-Consumo de Domus Masculino; Fonte: Própria;

PR anual é 0,814, um bom valor que indica que o sistema está operando com eficiência, onde observa-se o maior PR nos meses de janeiro (0.885), fevereiro (0.877) e novembro (0.869) e os de baixo desempenho junho (0.783) e julho (0.800).

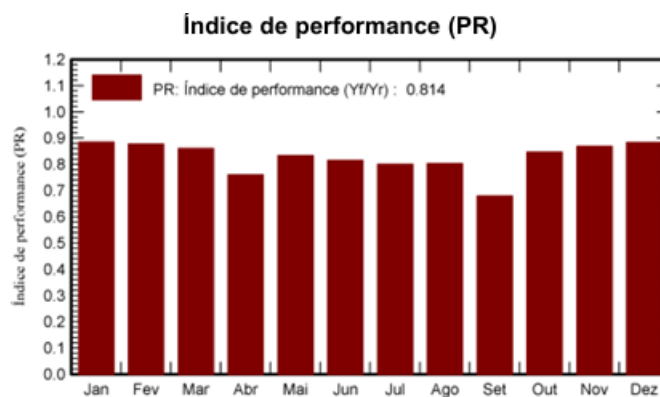


Figura 47-Rácio de performance de Domus M; Fonte: Pvsyst

Já na tabela abaixo pode-se ver um elevado aproveitamento da irradiância disponível, com boa correlação entre GlobInc e EArray, tendo assim uma produção anual relevante: 29565 kWh gerados (EArray) com 27645 kWh injetados na rede.

4.9 Domus F (Residência Universitária para estudantes)

A produção FV é alta justamente quando o consumo é mais baixo (verão/outono), e não cobre os picos de inverno e início de ano. Não é possível suprir integralmente os

consumos apenas com produção solar direta, a não ser com baterias para armazenar os excedentes de maio á agosto ou injeção na rede com compensação posterior. A produção é de 35,054 MWh/ano e o consumo diurno nas estufas é de 30,35 MWh/ano.

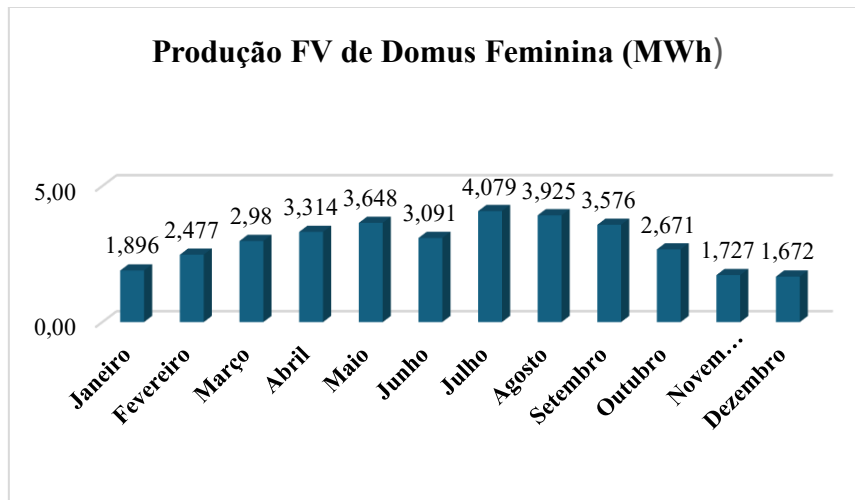


Figura 48- Produção FV de Domus Feminina; Fonte: Própria;

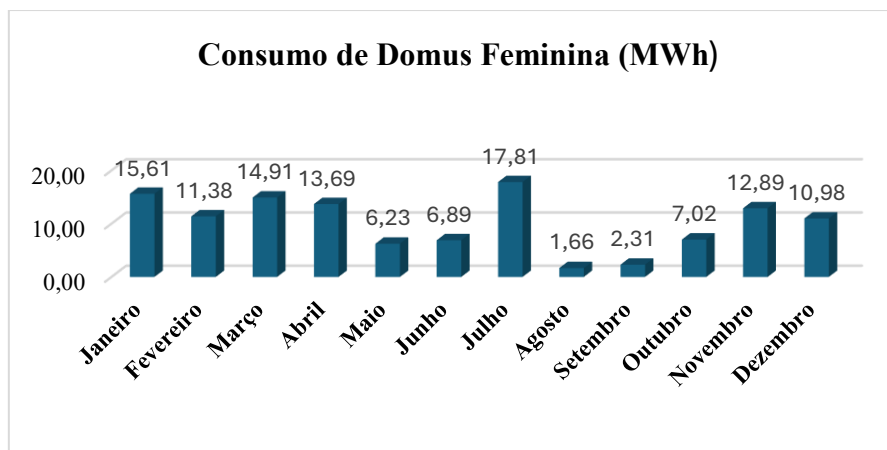


Figura 49-Consumo de Domus Feminino; Fonte: Própria;

O sistema apresenta um desempenho bom, com PR de 0.826 e geração bem distribuída nos meses de maior radiação.

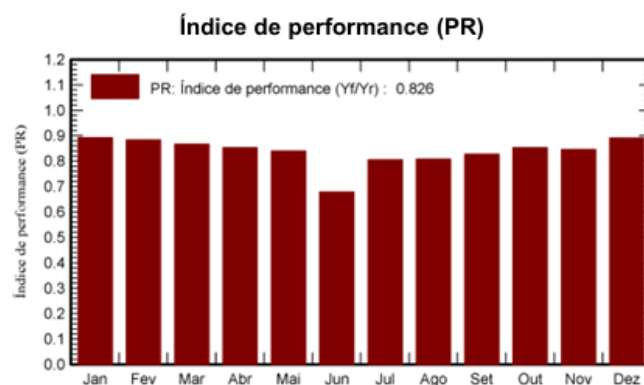


Figura 50-Rácio de performance de Domus F; Fonte: Pvsyst

Os meses de maior geração são os meses de junho e julho, enquanto os de menor geração são os meses de janeiro e dezembro.

Observa-se na tabela acima que grande aproveitamento da irradiância disponível, com boa correlação entre GlobInc e EArray, tendo assim uma produção anual de 36973 kWh gerados (EArray) com 35054 kWh injetados na rede.

4.10 Domus 3 (Residência Universitária para professores)

A análise comparativa entre a produção fotovoltaica estimada e os consumos reais do Domus 3 revela um desfasamento significativo entre a oferta e a procura energética. A produção atinge o pico nos meses em que o consumo é mais reduzido, enquanto nos períodos de maior consumo a geração solar é baixa.

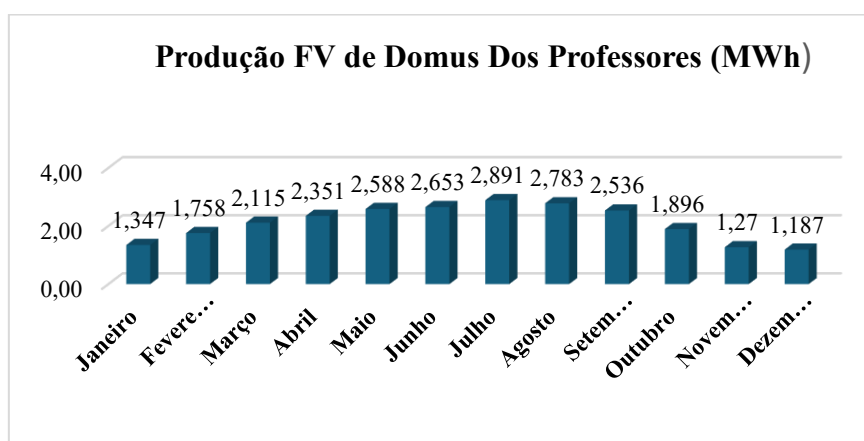


Figura 51-Produção FV de Domus dos professores; Fonte: Própria;

É possível suprir os consumos em alguns meses (principalmente maio, junho, julho, agosto, setembro), desde que a potência instalada seja suficiente, mas todo o ano não é possível suprimir os consumos sem armazenamento ou injeção/compensação de rede.

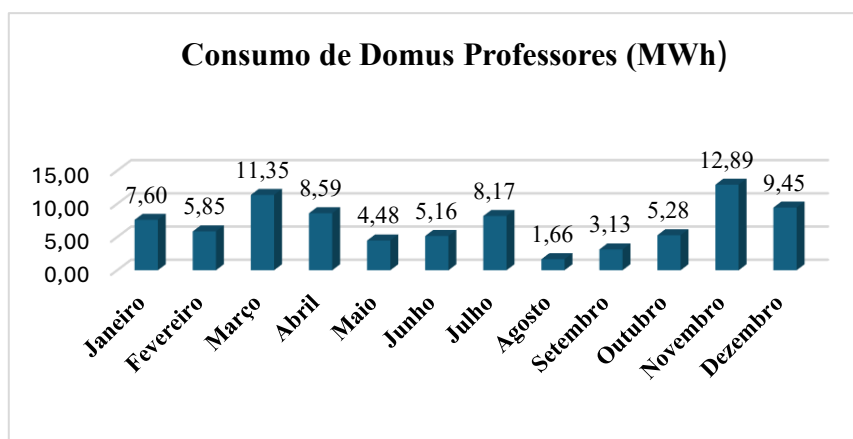


Figura 52-Consumo de Domus dos professores; Fonte: Própria;

O PR anual médio é 0,854, que é muito bom (qualquer valor acima de 0,80 é considerado excelente). A leve queda do PR no verão (junho-agosto) pode estar relacionada a altas temperaturas, que afetam a eficiência dos painéis.

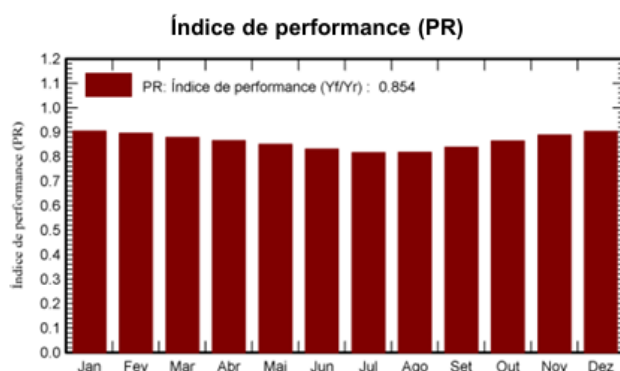


Figura 53-Rácio de performance de R. Domus 3; Fonte: Pvsyst;

O sistema produz até ~5 kWh/kWp/dia em julho, e no mínimo ~1,2 kWh/kWp/dia em dezembro, onde a energia útil representa a maior e com boa estabilidade ao longo do ano.

A irradiância anual total em plano inclinado (GlobInc) é 1930 kWh/m², bastante favorável e com uma temperatura de 12,71 °C o que é muito favorável para a eficiência dos módulos porque teremos menos perdas térmicas. Os melhores meses de geração foi maio a agosto (superando 2.500 kWh/mês de E_Array) enquanto o pior mês foi dezembro.

4.11 Polidesportivo 2

O gráfico mostra a energia útil produzida por kWp instalado ao longo do ano, em que varia entre os 1,5 á 5 kWp/dia dependendo do mês, as maiores produções ocorrem de maio a agosto. E como podem ver as perdas se encontram divididas em duas perdas (as

perdas por absorção e as perdas do sistema devido ao inversor, aos cabos), indicando perdas pequenas o que indica um bom dimensionamento e eficiência do sistema.

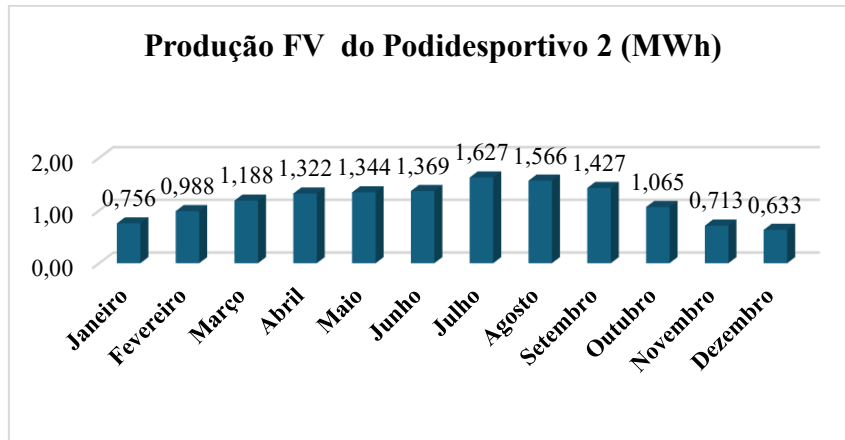


Figura 54-Produção FV do polidesportivo 2; Fonte: Própria;

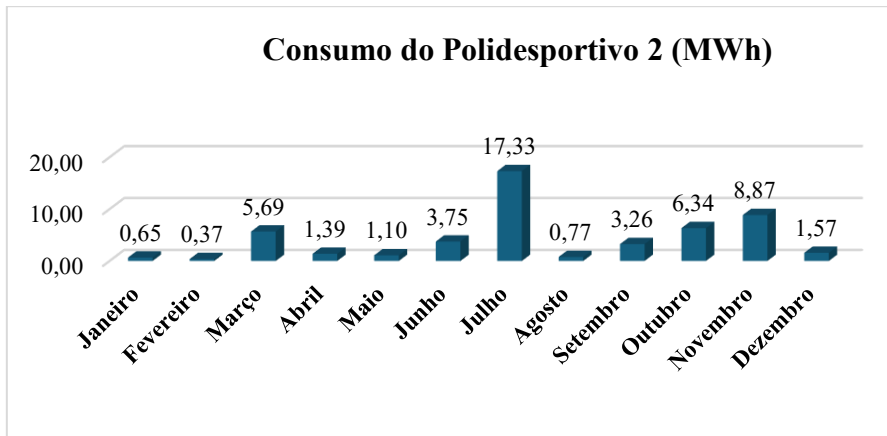


Figura 55-Consumo do polidesportivo 2; Fonte: Própria;

Como sabemos o Índice de Performance (PR) depende da temperatura e das perdas térmicas por isso menor PR em agosto pode estar ligado a temperaturas elevadas, que reduzem a eficiência dos módulos, já nos meses de janeiro e dezembro apresenta maior PR.

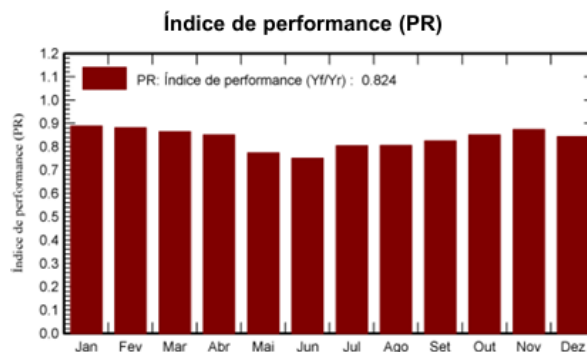


Figura 56-Rácio de performance do Polidesportivo 2; Fonte: Pvsyst

Pode-se ver na tabela abaixo que a energia entregue à rede (E_{Grid}) é muito próxima da energia dos painéis (E_{Array}), o que indica baixas perdas nos inversores e sistema elétrico que faz com que o sistema esteja otimizado e eficiente.

5. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE BATERIAS PARA O CAMPUS IPB

5.1 Introdução

Depois deste longo trabalho de dimensionamento dos módulos Fotovoltaico em cada edifício, foi feito um possível dimensionamento de baterias de acordo com os dados de consumo, produção e ver o excedente que se tem em cada edifício e ver se vale a pena ter esse banco de baterias para o armazenamento da energia.

Foi estabelecida uma relação entre o consumo e a energia ativa consumida (MWh), com o objetivo de identificar os excedentes em todos os edifícios. Verificaram-se diferenças significativas entre eles, o que levanta a questão da viabilidade da instalação de sistemas de armazenamento por baterias em cada edifício. Tal análise visa avaliar o consumo noturno, período em que não há produção fotovoltaica.

Tabela 4- Comparação entre as produções, excedentes e consumos MWh; Fonte: Excel

Edifícios	Produção Pv Anual (MWh)	Produção Pv Diário (MWh)	Excedentes Anual (MWh)	Excedentes Diário (MWh)	Consumo Noturno Anual (MWh)	Energia Necessária da rede Diário (MWh)
ESA_PT1	226,28	0,62	90,45	0,25	182,65	0,25
ESA_PT2	532,03	1,46	224,46	0,61	345,05	0,33
ESTiG	405,44	1,11	144,50	0,40	155,24	0,03
ESE	113,43	0,31	24,08	0,07	296,37	0,75
ESTUFAS	17,47	0,05	10,10	0,03	11,95	0,01
ESSA	77,46	0,21	27,35	0,07	60,78	0,09
GULBENKIAN	15,73	0,04	11,05	0,03	110,9	0,27
DOMUS 3	28,16	0,08	19,29	0,05	21,92	0,01
DOMUS F	35,10	0,10	18,46	0,05	26,46	0,02
DOMUS M	27,69	0,08	14,55	0,04	59,6	0,12
POLID.2	14,02	0,04	13,86	0,04	7,62	-0,02

Com essas análises, necessita-se o de calcular a capacidade da nossa bateria onde simula-se para dois tipos de baterias de preços e capacidades diferentes a fim de ter melhores resultados, como podem ver abaixo:

BYD BATTERY BOX PREMIUM LVS 24.0

- Capacidade da bateria: 24,0 kWh
- Tensão nominal: 51,2 V
- Corrente de saída máxima: 250 A
- Corrente de saída de pico: 360 A (5s)
- Peso: 289 kg
- Tipo de proteção IP: IP 55
- Dimensões (H/W/D): 1643 x 650 x 298 mm
- Tecnologia celular: fosfato de ferro de lítio (LFP)
- DoD:80 % (Preço 5184,08 €)
- Eficiência da bateria: 90 %



Figura 57-Imagem de bateria de LFT de 24 KWh; fonte: BYD Battery-Box;

BYD BATTERY BOX PREMIUM LVS 20.0

- Capacidade da bateria: 2,0 kWh
- Tensão nominal: 51,2 V
- Corrente de saída máxima: 250 A
- Corrente de saída de pico: 360 A (5s)
- Peso: 244 kg
- Tipo de proteção IP: IP 55
- Dimensões (A/L/P): 1410 x 650 x 298 mm
- Tecnologia celular: fosfato de ferro e lítio (LFP)
- DoD:80 % (Preço 4370,08 €)
- Eficiência da bateria: 90 %



Figura 58-Imagem de bateria de LFT de 20 KWh; fonte: BYD Battery-Box

$$\text{Capacidade necessaria} = \text{Energia útil} / (\text{DoD} \times \text{Eficiência}) \quad (5.1)$$

DOD - Profundidade de Descarga

$$\text{Numero de Baterias} = \text{Capacidade necessaria} / (\text{Capacidade de bateria}) \quad (5.2)$$

Tabela 5 - Comparação entre capacidades das baterias e custos; Fonte: Excel

Edifícios	Excedentes (kWh)	Capacidade Necessária (kWh)	Nº de Baterias (24kWh)	Nº de Baterias (20kWh)	Custo de Baterias de 24kWh	Custo de Baterias de 20kWh
ESA_PT1	247,81	278,78	12	14	60 216,48 €	60 914,55 €
ESA_PT2	614,96	691,83	29	35	149 435,28 €	151 167,62 €
ESTiG	395,89	445,38	19	22	96 202,08 €	97 317,31 €
ESE	65,99	74,23	3	4	16 033,68 €	16 219,55 €
ESTUFAS	27,67	31,12	1	2	6 721,92 €	6 799,84 €
ESSA	74,93	84,29	4	4	18 206,64 €	18 417,70 €
GULBENKIAN	30,28	34,07	1	2	7 359,12 €	7 444,43 €
DOMUS 3	52,86	59,46	2	3	12 843,36 €	12 992,25 €
DOMUS F	50,58	56,91	2	3	12 292,56 €	12 435,06 €
DOMUS M	39,86	44,84	2	2	9 685,44 €	9 797,72 €
POLID.2	37,97	42,71	2	2	9 225,36 €	9 332,31 €

Com a quantidade de baterias, próximo passo é saber se economicamente vale a pena esse banco de baterias nos edifícios para o armazenamento da energia para o consumo.

Sabendo que o custo de eletricidade em Portugal está a 0.16 €/kWh, logo:

Tabela 6 - Comparação dos custos das baterias e o tempo de amortização do custo das baterias. Fonte: Excel

Edifícios	Energia Necessária da rede Diário (kWh)	Custo da eletricidade em Portugal (kWh)	Custo da eletricidade por dia (kWh)	Custo da eletricidade por ano (kWh)	Tempo de retorno(Baterias de 24kWh)	Tempo de retorno(Baterias de 20kWh)
ESA_PT1	252,59	0,16 €	40,41 €	14 751,26 €	4	4
ESA_PT2	330,38	0,16 €	52,86 €	19 294,19 €	8	8
ESTiG	29,42	0,16 €	4,71 €	1 718,13 €	56	57
ESE	745,99	0,16 €	119,36 €	43 565,82 €	0	0
ESTUFAS	5,08	0,16 €	0,81 €	296,67 €	23	23
ESSA	91,60	0,16 €	14,66 €	5 349,44 €	3	3
GULBENKIAN	273,56	0,16 €	43,77 €	15 975,90 €	0	0
DOMUS 3	7,21	0,16 €	1,15 €	421,06 €	31	31
DOMUS F	21,92	0,16 €	3,51 €	1 280,13 €	10	10
DOMUS M	123,42	0,16 €	19,75 €	7 207,73 €	1	1
POLID.2	-17,08	0,16 €	- 2,73 €	- 997,47 €	-9	-9

Conclui-se, portanto, que a instalação de bancos de baterias no Estufas, ESTiG e no Domus 3 não se justificaria, uma vez que o retorno sobre o investimento seria demasiado tardio e não apresentaria viabilidade econômica. Para o caso de ESA 1, ESA 2, ESSA, Domus F, Domus M seria viável visto que seria amortizado em poucos anos e logo teria retorno em pouco tempo. Para o caso do Gulbenkian, ESE e o Polidesportivo 2 seria os melhores investimentos visto que nem levam anos para amortizar o custo das baterias.

5.2 Custo de instalação por potência de cada edifício do IPB com baterias e sem baterias

O sistema proposto utiliza-se módulos fotovoltaicos com potência unitária de 550 Wp, permitindo uma elevada eficiência na conversão de energia solar.

O investimento é calculado com base no custo por kWp instalado, sendo:

- 750 € por kWp para sistemas sem baterias;
- 1000 € por kWp para sistemas com baterias.

Esses valores por kWp instalado representam uma média de mercado, ajustada à escala do projeto e à tecnologia empregada. A diferença de custo entre os dois tipos de sistema justifica-se pela complexidade técnica e pelos componentes adicionais exigidos no sistema com armazenamento.

Tabela 7 - Custo de um sistema com baterias e sem baterias; Fonte: Excel

Entidade	Número de módulos	Sem Baterias	Com Baterias
ESA_1	256	105 600,00 €	140 800,00 €
ESA_2	600	247 500,00 €	330 000,00 €
ESTiG	456	188 100,00 €	250 800,00 €
ESE	128	52 800,00 €	70 400,00 €
ESTUFAS	20	8 250,00 €	11 000,00 €
ESSA	88	36 300,00 €	48 400,00 €
GULBENKIAN	18	7 425,00 €	9 900,00 €
DOMUS 3	28	11 550,00 €	15 400,00 €
DOMUS F	40	16 500,00 €	22 000,00 €
DOMUS M	32	13 200,00 €	17 600,00 €
POLID 2	16	6 600,00 €	8 800,00 €

O gráfico referente ao custo de instalação por unidade de potência, com e sem inclusão de sistemas de armazenamento por baterias apresenta a relação percentual de custos entre os dois cenários para cada edifício do campus. Nota-se uma diferença de aproximadamente 33% a mais no custo quando a instalação é feita com baterias em relação a instalação sem baterias.

CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como principal objetivo a caracterização dos consumos energéticos por edifício do IPB e o dimensionamento dos consumos energéticos do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), com vista à obtenção de uma visão clara e fundamentada sobre os perfis de consumo, os principais centros consumidores e o seu impacto no desempenho energético da instituição com o objetivo de minimizar a fatura elétrica. Através da recolha e análise de dados reais de consumo de consumo do ano de 2022, foi possível identificar padrões sazonais, variações entre edifícios e a influência de fatores externos como condições climáticas e ocupação.

Verificou-se que a maior fatia do consumo energético está associada ao aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC), bem como à iluminação em determinados edifícios com funcionamento prolongado. Com o dimensionamento dos consumos permitiu ainda estimar a potência necessária para satisfazer a procura energética em cada edifício, contribuindo para a identificação de oportunidades de otimização e eficiência. Com base nestas análises, foram sugeridas medidas corretivas e preventivas que poderão contribuir para uma redução significativa dos consumos do campus.

Mas durante o desenvolvimento deste projeto foi encontrado muitas dificuldades, nos quais na aquisição do software PVSyst, na aprendizagem do software visto que queria fazer algo novo e diferente do que tinha aprendido durante os anos académicos e era o meu primeiro contacto com o PVSyst. Dificuldades também nas instalações dos módulos nos edifícios visto que cada um desses edifícios apresenta um telhado diferente, inclinação diferente, entre outras características, logo para diminuir essas dificuldades tive de visitar alguns desses edifícios e tentar perceber o máximo possível do local da instalação do sistema fotovoltaico. Outra dificuldade que foi encontrado é que as áreas do telhado, onde foi instalado umas potências mais elevadas de módulos e a área disponível era insuficiente, em determinados casos, apresentava condições inadequadas para a instalação de equipamentos, como se verificava, por exemplo, na Residência dos Docentes.

Mas no desenvolvimento deste projeto também se constataram múltiplas coisas positivas, principalmente porque consegue-se cumprir o proposto que era fazer a caracterização dos consumos energéticos por edifício do IPB e dimensionamento do fornecimento de energia ao campus.

Pode-se afirmar que o IPB apresenta um elevado potencial de melhoria na sua gestão energética, sendo fundamental a implementação de políticas de eficiência energética, aliadas à sensibilização da comunidade académica para práticas sustentáveis. O investimento em tecnologias mais eficientes, a modernização de infraestruturas e o uso de fontes de energia renovável poderão garantir um futuro mais sustentável para a instituição.

Perspetivas Futuras e Possíveis Melhorias do Sistema

Dando continuidade ao trabalho desenvolvido, existem várias perspetivas futuras que poderão reforçar e aprofundar o conhecimento sobre os consumos energéticos do IPB, assim como contribuir para a implementação de soluções mais eficazes e sustentáveis.

Por exemplo estudar a possível implementação de carregadores para veículos elétricos (VE), seria uma estratégia com impacto ambiental e social significativo. Dada a crescente adesão à mobilidade elétrica, esta iniciativa permitiria não só responder às necessidades emergentes de docentes, estudantes e funcionários, como também reforçar o compromisso institucional com a sustentabilidade e a redução das emissões de gases com efeito de estufa.

Além disso, a presença destes carregadores poderia servir de incentivo adicional à transição para veículos elétricos, posicionando o IPB como uma instituição de ensino superior inovadora e ambientalmente responsável

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alotto, P., Guarnieri, M., & Moro, F. (2014). Redox flow batteries for the storage of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 325–335. [Consulta 20/03/2025]. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.001>;
- [2] BNEF. (2017). Lithium ion battery costs and market. [Consulta 20/03/2025]. Disponível em: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>;
- [3] Battery University (2025). [Consulta 10/04/2025]. Disponível em: [Saiba mais sobre baterias - Battery University](#).
- [4] BNEF. (2019). Acesso em 15 de 08 de 2019, disponível em Bloomberg NEF. [Consulta 18/03/2025]. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-investments-boom-battery-costs-halve-next-decade/>;
- [5] Decreto-Lei n.º 30-A/2022, de 18 de abril. Estabelece medidas excepcionais para acelerar projetos de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis. *Diário da República*, 1.ª série, n.º 75-A. (com alterações pelos Decretos-Leis n.º 72/2022, 11/2023, 22/2024 e 116/2024) [Consulta 13/07/2025].
- [6] DOE – U.S. Department of Energy. *Energy Storage Grand Challenge*. Washington: DOE, 2024. [Consulta 13/07/2025].
- [7] **FACTS ON CLIMATE**. Emission pathways towards the Paris Agreement. *Facts on Climate*, 2022. Disponível em: <https://factsonclimate.org/infographics/emission-pathways-paris>. Acesso em: 13 jul. 2025 [Consulta 13/07/2025].
- [8] Fernandes & Leitão (2019). Roteiro para a Descarbonização de Portugal. Uma perspetiva na construção e reabilitação dos edifícios. [Consulta 03/03/2025]. Disponível em [3.5.-Artigo-rpee sIII n09 pg117 122.pdf](#)
- [9] Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., & Hao, X. (2022). *Solar cell efficiency tables (version 59)*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 30(1), 3–12. [Consulta 12/07/2025]. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pip.3500>

- [10] IRENA. (2023). Renewables and Electricity Storage. Em A technology roadmap for REmap 2030. [Consulta 03/04/2025]. Disponível em: [Renewables and Electricity Storage: A technology roadmap for REmap 2030](#)
- [11] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. *Global Energy Storage Outlook 2024*. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-storage-outlook-2024>. Acesso em: 12 jul. 2025.
- [12] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. *Renewables 2023: Market Analysis and Forecast from 2023 to 2028*. [Consulta 12/07/2025]
- [13] KOST, C. et al. *Levelized Cost of Electricity – Renewable Energy Technologies*. Fraunhofer ISE, 2023. Disponível em: <https://www.ise.fraunhofer>. 2025. [Consulta 13/07/2025].
- [14] KUMAR, S.; SINGH, P.; CHAUDHARY, R.; VERMA, A. Recent advancements in photovoltaic inverter technologies for efficient energy conversion: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 169, p. 112925, 2023. [Consulta 12/07/2025] Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.112925>
- [15] LIU, J.; WANG, L.; ZHANG, Y.; LIU, H. Advances in photovoltaic charge controller technologies: Efficiency improvement and battery protection. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 16, n. 1, p. 015301, 2024. <https://doi.org/10.1063/5.0141234>
- [16] PV EDUCATION. *Solar Cell Structure*. PVCDROM – Pv Education. Disponível em: <https://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-structure>. [Consulta 13/07/2025].
- [17] PHP. (2017). Obtido em 9 de 4 de 2025, [Consulta 09/04/2025]. Disponível de http://php.net/manual/pt_BR/preface.php.
- [18] RNC2050 – Roteiro para a Neutralidade Carbónica. DESCARBONIZAR2050.PT, 2018. [Consulta 22/04/2025]. Disponível em [RNC2050 - Roteiro para a Neutralidade Carbónica](#).
- [19] Enat (2025). Sistemas Fotovoltaicos. [Consulta 13/04/2025]. Disponível em: [ENAT - Unidade de Produção para Autoconsumo \(UPAC\)](#)
- [20] ESDEC (2025) [Consulta 10/06/2025]. Disponível em: [Soluções para telhados planos - Esdec](#)

- [21] Sharif et al. (2025) — “Advancements in photovoltaic technology: A comprehensive review of recent advances and future prospects”, *Energy Conversion and Management*: X, Vol. 26 (abril 2025).
- [22] SOLARBLOC (2025). [Consulta 29/03/2025]. Disponível em: <https://www.solarbloc.com.br>
- [23] Solar Shop (2025). [Consulta 17/03/2025]. Disponível em: [Inversor de rede Huawei SUN2000-30KTL-M3](#)
- REN21. *Renewables Global Status Report 2024*. Paris: REN21 Secretariat, 2024. [Consulta 12/07/2025]. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>.
- [24] PHB Solar (2025) [Consulta 17/03/2025]. Disponível em: [Módulo JA SOLAR JAM72S30-550/MR - PHB Solar](#)
- [25] Paris: IEA, 2023.) [Consulta 12/007/2025]. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>.
- [26] WANG, X.; LIU, Y.; ZHANG, Q.; CHEN, H. Recent developments in lithium-ion battery technologies for photovoltaic energy storage: A review. *Energy Storage Materials*, v. 54, p. 501-520, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2023.12.012> [Consulta 13/07/2025].

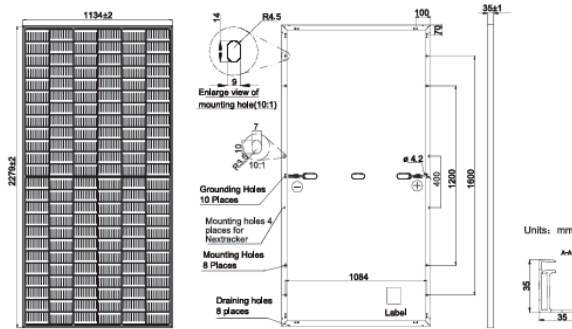
ANEXOS

Anexo A – Datasheet dos módulos fotovoltaico



JAM72S30 530-555/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	28.6kg±3%
Dimensions	2279±2mm×1134±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144(6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1300mm(+)/1300mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/Pallet 620pcs/40HQ Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR	JAM72S30 -555/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	530	535	540	545	550	555
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90	50.02
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96	42.11
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00	14.07
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11	13.18
Module Efficiency [%]	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3	21.5
Power Tolerance	±5W					
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

TYPE	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR	JAM72S30 -555/MR
Rated Max Power(Pmax) [W]	401	405	408	412	416	420
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.18	46.31	46.43	46.55	46.68	46.85
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.57	38.78	38.99	39.20	39.43	39.66
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.01	11.05	11.09	11.13	11.17	11.21
Max Power Current(Imp) [A]	10.39	10.43	10.47	10.51	10.55	10.59

NOCT Irradiance 800W/m², ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G

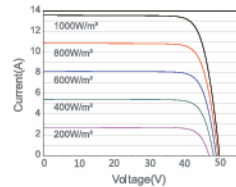
*For NexTracker installations, Maximum Static Load, Front is 2000Pa while Maximum Static Load, Back is 2000Pa.

OPERATING CONDITIONS

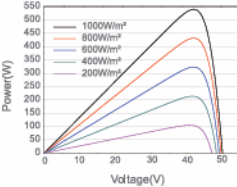
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40°C → +85°C
Maximum Series Fuse Rating	25A
Maximum Static Load, Front*	5400Pa(112lb/ft ²)
Maximum Static Load, Back*	2400Pa(50lb/ft ²)
NOCT	45±2°C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

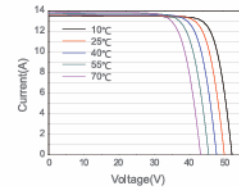
Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Power-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20210720A

Anexo B- Datasheet do Inversor

Eficiência

Especificações técnicas	SUN2000-12KTL-M0	SUN2000-15KTL-M0	SUN2000-17KTL-M0	SUN2000-20KTL-M0
Eficiência máxima	98,5%	98,65%	98,65%	98,65%
Eficiência europeia	98,0%	98,3%	98,3%	98,3%

Entrada

Especificações técnicas	SUN2000-12KTL-M0	SUN2000-15KTL-M0	SUN2000-17KTL-M0	SUN2000-20KTL-M0
Tensão máxima de entrada ^a	1.080 V			
Corrente máxima de entrada (por MPPT)	22 A			
Corrente máxima de curto-circuito (por MPPT)	30 A			
Corrente máxima do retorno de energia do inverter à matriz PV	0 A			
Tensão de inicialização mínima	200 V			

Alcance de tensão de funcionamento ^b	160–950 V			
Alcance da tensão MPPT de carga total	380–850 V	380–850 V	400–850 V	480–850 V
Tensão nominal de entrada	600 V			
Número de rotas de entrada	4			
Número de rastreadores de MPP	2			
<p>Nota a: A tensão máxima de entrada é o limite superior da tensão CC. Se a tensão de entrada excede o limite, o inversor solar pode ser danificado.</p> <p>Nota b: Se a tensão de entrada estiver fora do alcance da tensão de operação, o inversor solar não pode funcionar corretamente.</p>				

Saída

Especificações técnicas	SUN2000-12KTL-M0	SUN2000-15KTL-M0	SUN2000-17KTL-M0	SUN2000-20KTL-M0
Potência ativa nominal	12.000 W	15.000 W	17.000 W	20.000 W
Potência aparente máxima	13.200 VA	16.500 VA	18.700 VA	22.000 VA
Potência ativa máxima (cosφ = 1)	13.200 W	16.500 W	18.700 W	22.000 W
Tensão de saída nominal	220/380 V, 230/400 V, 3 W + (N) + PE			
Corrente de saída nominal	18,2 A (380 V)/17,3 A (400 V)	22,8 A (380 V)/21,7 A (400 V)	25,8 A (380 V)/24,6 A (400 V)	30,4 A (380 V)/28,9 A (400 V)
Corrente de saída máxima	20 A	25,2 A	28,5 A	33,5 A
Frequência de rede elétrica adaptada	50/60 Hz			

SUN2000-60KTL-M0

Especificações Técnicas

Eficiência	
Eficiência máxima	98.9% @480 V, 98.7% @380 V / 400 V
Eficiência europeia	98.7% @480 V, 98.5% @380 V / 400 V
Entrada	
Tensão máxima de entrada	1,100 V
Corrente máx. por MPPT	22 A
Corrente de curto-circuito máx. por MPPT	30 A
Tensão de início	200 V
Faixa de tensão operacional do MPPT	200 V ~ 1,000 V
Tensão nominal de entrada	720 V @480 Vac, 600 V @380 Vac / 400 Vac
Número de entradas	12
Número de MPP Trackers	6
Saída	
Potência ativa nominal (CA)	60,000 W
Potência aparente máxima (CA)	66,000 VA
Potência ativa CA máxima (cosφ=1)	66,000 W
Tensão nominal de saída	480 V/ 400 V/ 380 V, 3F+(N)+PE
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz
Corrente nominal de saída	72.2 A @480 V, 86.7 A @400 V, 91.2 A @380 V
Corrente de saída máxima	79.4 A @480 V, 95.3 A @400 V, 100 A @380 V
Faixa de ajuste do Fator de potência	0.8 LG ... 0.8 LD
Distorção harmônica total máxima	< 3%

Anexo C- Exemplo de um Dimensionamento feito no PVsyst (ESA PT2)



PVsyst V8.0.9

PVsyst - Relatório da simulação

Sistema acoplado à rede

Projeto: ESA PT2

Variante: DIMENSIONAMENTO ESA PT2 315 KWP

Sem desenho 3D de sombras, sem sombras

Potência sistema: 330 kWp

Santa Apolónia - Portugal



Projeto: ESA PT2

Variante: DIMENSIONAMENTO ESA PT2 315 KWP

PVsyst V8.0.9

VC0, Data da simulação: 09/04/25 11:51
com V8.0.9

Zuleica Soraia Conceição Teixeira (Portugal)

Resumo do projeto

Localização geográfica Santa Apolónia Portugal	Localização Latitude 41.80 °(N) Longitude -6.77 °(W) Altitude 685 m Fuso horário UTC	Parâmetros projeto Albedo 0.20
Dados meteorológicos Santa Apolónia Meteonorm 8.2 (2001-2020) - Synthetic		

Resumo do sistema

Sistema acoplado à rede	Sem desenho 3D de sombras, sem sombras	
Orientação #1 Plano fixo Inclinação/Azimute 35 / 0 °	Sombras próximas sem sombras	Exigências do consumidor Carga ilimitada (rede)
Informação do sistema Grupo FV Nr. de módulos 600 unidades Pnom total 330 kWp	Inversores Número de unidades 3 unidades Potência total 330 kWca Rácio Pnom 1.00	

Resumo dos resultados

Energia produzida 531.98 MWh/ano	Produção específica 1612 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR 83.53 %
----------------------------------	--------------------------------------	----------------------------

Índice

Resumo do projeto e dos resultados	2
Parâmetros gerais, Características do grupo FV, Perdas do sistema	3
Resultados principais	4
Diagrama de perdas	5
Gráficos predefinidos	6
Diagrama unifilar	7



PVsyst V8.0.9

VC0, Data da simulação: 09/04/25 11:51
com V8.0.9

Zuleica Soraia Conceição Teixeira (Portugal)

Parâmetros gerais

Sistema acoplado à rede	Sem desenho 3D de sombras, sem sombras	
Orientação #1	Configuração dos sheds	Modelos utilizados
Plano fixo	Não há um desenho 3D definido	Transposição Perez
Inclinação/Azimute 35 / 0 °		Difuso Perez, Meteonorm
		Cicumsolar separado
Horizonte	Sombras próximas	Exigências do consumidor
Sem horizonte	sem sombras	Carga ilimitada (rede)

Características do grupo FV

Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	JAM72-S30-550-MR	Modelo	SUN2000-110KTL-M0
(Base de dados original do PVsyst)		(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	550 Wp	Potência unitária	110 kWca
Número de módulos FV	600 unidades	Número de inversores	30 * MPPT 10% 3 unidades
Nominal (STC)	330 kWp	Potência total	330 kWca
Módulos	30 string x 20 Em série	Tensão de funcionamento	200-1000 V
Em condições de func. (50°C)		Potência máx. (=>30°C)	121 kWca
Pmpp	303 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1.00
Umpp	760 V	Não há partilha de potência entre MPPTs	
I mpp	398 A		
Potência FV total		Potência total inversor	
Nominal (STC)	330 kWp	Potência total	330 kWca
Total	600 módulos	Número de inversores	3 unidades
Superfície módulos	1550 m²	Rácio Pnom	1.00

Perdas do grupo

Perdas sujidade grupo	Fator de perdas térm.	Perdas de cablagem DC
Fração perdas 3.0 %	Temperatura módulos em função irradiância	Res. global do grupo 31 mΩ
	Uc (const.) 20.0 W/m²K	Fração perdas 1.5 % em STC
	Uv (vento) 0.0 W/m²K/m/s	
Perdas diódo série	Perdas de qualidade dos módulos	Perdas dos módulos com mismatch
Queda de tensão 0.7 V	Fração perdas -0.8 %	Fração perdas 2.0 % no MPP
Fração perdas 0.1 % em STC		

Fator de perda IAM

Efeito de incidência (IAM): Perfil personalizado

0°	30°	50°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	1.000	0.999	0.953	0.910	0.853	0.725	0.448	0.000



Projeto: ESA PT2

Variante: DIMENSIONAMENTO ESA PT2 315 KWP

PVsyst V8.0.9

Zuleica Soraia Conceição Teixeira (Portugal)

VC0, Data da simulação: 09/04/25 11:51
com V8.0.9

Resultados principais

Produção do sistema

Energia produzida

531.98 MWh/ano

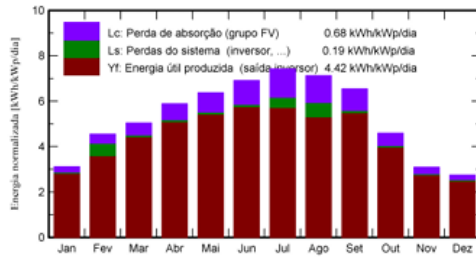
Produção específica

1612 kWh/kWp/ano

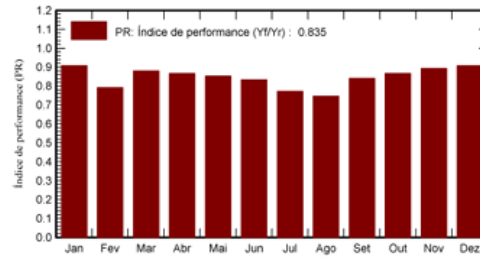
Índice de perf. PR

83.53 %

Produções normalizadas (por kWp instalado)



Índice de performance (PR)



Balances e resultados principais

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR rácio
Janeiro	54.7	24.98	4.49	96.6	92.9	29.47	28.96	0.908
Fevereiro	82.0	31.56	5.63	127.4	122.6	38.41	33.29	0.792
Março	124.0	53.59	8.69	156.4	149.7	46.23	45.41	0.880
Abril	160.7	63.90	10.82	176.6	168.8	51.41	50.49	0.866
Mai	203.9	73.63	14.90	197.6	188.3	56.60	55.60	0.852
Junho	223.5	69.17	19.39	207.3	197.2	58.05	57.03	0.834
Julho	241.5	54.56	22.13	230.1	219.2	63.28	58.69	0.773
Agosto	209.7	53.00	22.12	220.9	210.9	60.86	54.42	0.747
Setembro	157.9	44.35	18.20	196.5	188.3	55.46	54.48	0.840
Outubro	100.0	38.45	13.25	142.4	136.6	41.46	40.73	0.867
Novembro	58.2	28.09	7.54	92.8	89.2	27.84	27.34	0.893
Dezembro	47.1	21.20	4.83	85.3	82.2	26.03	25.55	0.907
Ano	1663.1	556.48	12.71	1930.0	1845.8	555.10	531.98	0.835

Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		



Projeto: ESA PT2

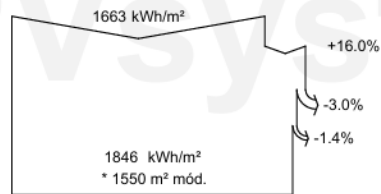
Variante: DIMENSIONAMENTO ESA PT2 315 KWP

PVsyst V8.0.9

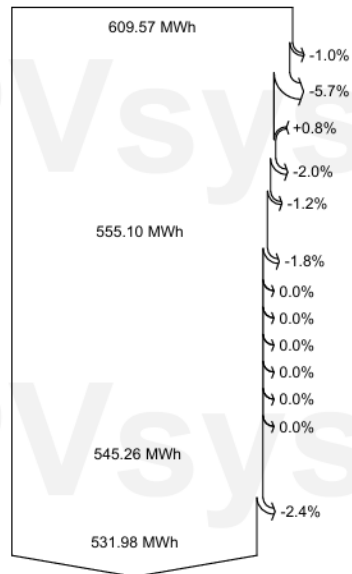
VC0, Data da simulação: 09/04/25 11:51
com V8.0.9

Zuleica Soraia Conceição Teixeira (Portugal)

Diagrama de perdas



eficiência em STC = 21.31%



Irradiação horizontal total

Incidência global no plano dos sensores

Fator de perdas de sujidade

Fator de IAM no global

Irradiância efetiva nos sensores

Conversão FV

Energia nominal do grupo (de acordo com eficiência STC)

Perdas devido ao nível de irradiação

Perdas devido à temperatura do grupo

Perdas qualidade módulos

Perdas do grupo devidas a mismatch

Perdas ôhmicas da cablagem

Energia virtual do grupo no MPP

Perdas inversor funcionamento (eficiência)

Perdas inversor, acima potência nominal

Perda inversor, limite de corrente

Perdas inversor, acima tensão nominal

Perdas inversor, limite de potência

Perdas inversor, limite de tensão

Consumo noturno

Energia disponível à saída do inversor

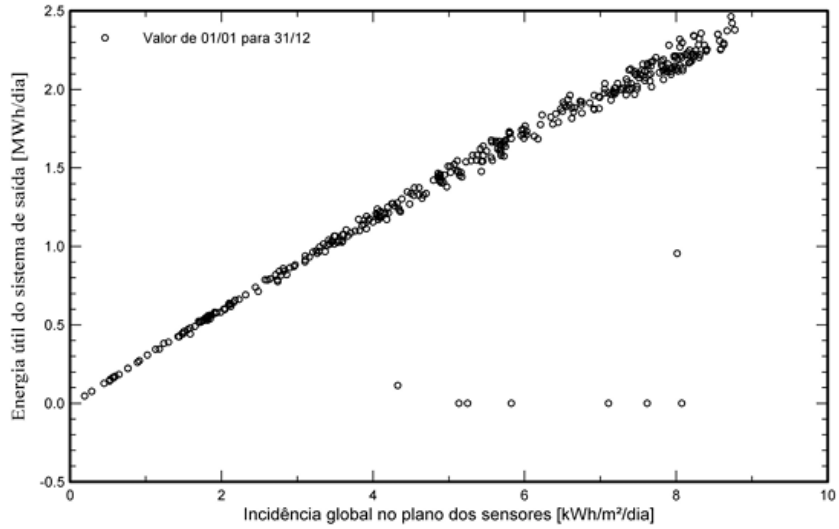
Indisponibilidade do sistema

Energia injetada na rede

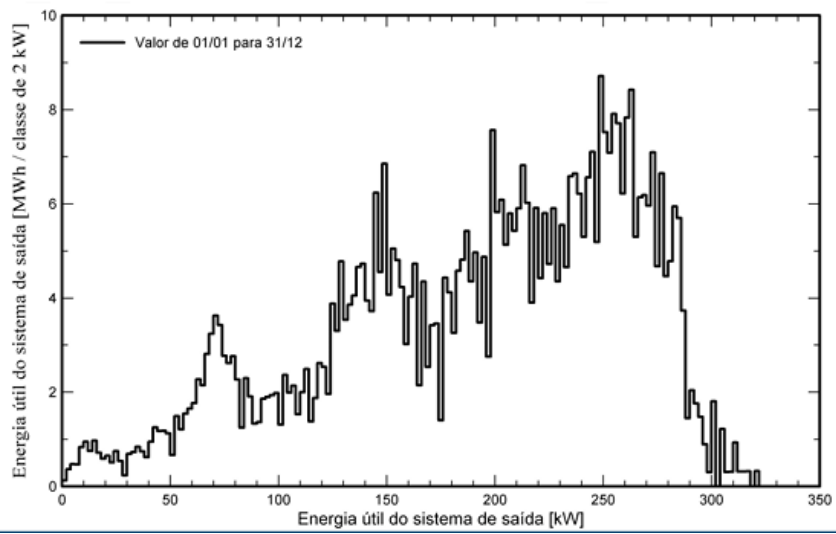


Gráficos predefinidos

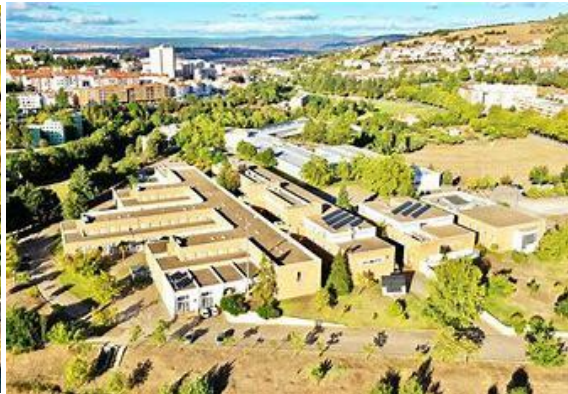
Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema



Anexo D – Imagens dos edifícios e os diferentes tipos de telhados



Anexo E – Pvgis

Cursor:
Selected: 41.797, -6.768
Elevation (m): 662
PVGIS ver: 6.3

Use terrain shadows:
 Calculated horizon
 Upload horizon file
[Switch to version 5.2](#)

[csv](#) [json](#)
 Escolher Ficheiro | Não foi escolhido nenhum

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database: PVGIS-SARAH3

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]: 70.4

System loss [%]:

Fixed mounting options

Mounting position: Free-standing

Slope [°]: 36

Azimuth [°]:

Optimize slope

Optimize slope and azimuth

PV electricity price

PV system cost (your currency):

Interest [%/year]:

Lifetime [years]:

[Visualize results](#) [csv](#) [json](#)

