



Dimensionamento de Sistema Solar Híbrido Caso de Estudo Unidade de Alojamento de Hotelaria dos Serviços de Ação Social do Instituto Politécnico de Co

ADRIANA MELO NAIA

Julho de 2023



Dimensionamento de Sistema Solar Híbrido

Caso de Estudo Unidade de Alojamento de Hotelaria dos Serviços de Ação Social do Instituto Politécnico de Coimbra

Junho de 2023

Adriana Melo Naia

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Química, área de especialização Energia e Biorrefinaria

Orientação

Dr.^a. Albina Sá Ribeiro

Eng. Jorge Roxo

Eng.^a. Alzira Costa

Agradecimentos

Desejo exprimir os meus agradecimentos a todos aqueles que, direta ou indiretamente, permitiram a concretização da presente dissertação.

Primeiramente, agradecer à Dr^a. Albina Ribeiro, Eng. Jorge Roxo e Eng^a. Alzira Costa, pela orientação e disponibilidade consistente. O trato simples, paciente e científico, com que sempre abordaram as reuniões de trabalho e sessões para dúvidas e correções.

A toda a restante equipa Filotipo, pela oportunidade de conhecer a sua atividade e fazer parte dela. Revelou-se uma experiência enriquecedora, com aprendizagens que me acompanharão ao longo do meu percurso profissional.

Aos docentes do Departamento de Engenharia Química do Instituto Superior de Engenharia do Porto, com quem tive o prazer de me cruzar ao longo destes últimos 5 anos académicos, e me proporcionaram o conhecimento necessário para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos e família, pelas palavras e momentos de incentivo indispensáveis nesta fase.

Resumo

Desde o início do novo século é notável um elevado crescimento das fontes de energia primárias renováveis, com tendência a serem utilizadas para autoconsumo. Consequentemente, as fontes de origem não renovável são gradualmente substituídas, devido à escassez e poluição que provocam comparativamente com as renováveis.

A tecnologia solar híbrida constitui uma interessante opção para o autoconsumo, uma vez que é capaz de converter a energia solar em energia térmica e elétrica.

Neste contexto, foi elaborada a presente dissertação com base na atividade da empresa de engenharia Filotipo, com o propósito de dimensionar um sistema solar híbrido para autoconsumo.

Para isso realizou-se uma revisão de literatura sobre as tecnologias de conversão de energia dos painéis solares híbridos, especificamente o produto da *Abora Solar*, contextualização do panorama técnico e legislativo atual para fornecimento de eletricidade, águas quentes sanitárias (AQS) e sistemas solares para autoconsumo e, por fim, como proceder a um dimensionamento adequado para este tipo de sistemas.

Desenvolveu-se um caso de estudo para a Unidade de Alojamento de Hotelaria dos Serviços de Ação Social do Instituto Politécnico de Coimbra.

Procedeu-se à avaliação do local de instalação, como a sua orientação, exposição solar, e a área disponível para a implantação.

Foram apresentados os consumos energéticos da unidade, abordando todos os aspetos relevantes para a sua análise. Estimou-se que a percentagem média de gás natural utilizado para AQS situa-se por volta dos 30%. Na residência Bencanta o consumo médio foi 15506 kWh e na Quinta da Nora 10945 kWh. Relativamente ao consumo elétrico, estimou-se que a potência média anual em Bencanta foi 14,67 kW e na Quinta da Nora 15,04 kW.

Posteriormente, dimensionou-se a instalação: número de painéis híbridos, depósitos e inversores, recorrendo-se ao *software* da *Abora Solar* como complemento. Concluiu-se que uma instalação de 44 painéis híbridos em Bencanta e 52 em Quinta da Nora se traduz numa poupança total de cerca de 15195 € nas faturas energéticas e evita a emissão de 85 toneladas de CO₂, em cada ano. Para esta instalação são necessários dois

depósitos de 2500 litros e dois inversores de 8 kW em Bencanta; na Quinta da Nora, quatro depósitos de 1300 litros e quatro inversores de 5 kW.

Para terminar, o projeto foi avaliado economicamente. Estimou-se um investimento inicial e total de 174 200€. O valor atual líquido (406 125 €) foi positivo, a taxa interna de retorno (23 %) elevada e o índice de rentabilidade (1,46) positivo, o que indica que o projeto é economicamente viável e rentável, proporcionando lucros. Quanto ao *pay-back period*, o capital investido será recuperado ao fim de 6 anos, dentro da vida útil do projeto.

Palavras-chave

Energia renovável; eficiência energética; painel solar híbrido; dimensionamento;

Abstract

Since the beginning of the new century a high growth of renewable primary energy sources is noticeable, with a tendency to be used for self-consumption. Consequently, sources of non-renewable origin are gradually replaced, due to the shortage and pollution they cause compared to renewable ones.

Hybrid solar technology is an interesting option for self-consumption, since it is able to convert solar energy into thermal and electrical energy.

In this context, the present dissertation was elaborated based on the activity of the engineering company Filotipo, with the purpose of sizing a hybrid solar system for self-consumption.

A literature review was conducted on the energy conversion technologies of hybrid solar panels, specifically the *Abora Solar* product, contextualization of the current technical and legislative overview for electricity supply, domestic hot water (DHW) and solar systems for self-consumption and, finally, how to proceed with an appropriate sizing for this type of systems.

A case study was developed for the Hospitality Accommodation Unit of the Social Action Services of the Polytechnic Institute of Coimbra.

We proceeded to the evaluation of the installation site, such as its orientation, solar exposure, and the available area for the implantation.

The energy consumption of the unit was presented, addressing all the relevant aspects for its analysis. It was estimated that the average percentage of natural gas used for DHW is around 30%. In the Bencanta residence the average consumption was 15506 kWh and in Quinta da Nora 10945 kWh. Regarding electric consumption, it was estimated that the annual average power in Bencanta was 14,67 kW and in Quinta da Nora 15,04 kW.

Afterwards, the installation was dimensioned: number of hybrid panels, tanks and inverters, using the *Abora Solar* software as a complement. It was concluded that an installation of 44 hybrid panels in Bencanta and 52 in Quinta da Nora translates into total savings of about 15 195 euros in energy bills and avoids the emission of 85 tons of CO₂ each year, being the ideal installation for this case. For this installation two 2500 liter

tanks and two 8 kW inverters are required in Bencanta; in Quinta da Nora, four 1300 liter tanks and four 5 kW inverters.

Finally, the project was evaluated economically. An initial and total investment of 174 200 € was estimated. The net present value (406 125 €) was positive, the internal rate of return (23 %) was high and the profitability index (1,46) was positive, indicating that the project is economically viable, providing profits. Regarding the *pay-back period*, the invested capital will be recovered after 6 years, within the project's useful life.

Key-words

Renewable energy; Energetic efficiency; hybrid solar panel; sizing.

Índice

Capítulo 1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e objetivos.....	4
1.2. Filotipo – Soluções de Eficiência Energética e Hídrica	5
1.3. Estrutura da dissertação	6
Capítulo 2. Estado da Arte	7
2.1. Energia solar	7
2.2. Conversão de energia solar	8
2.2.1. Coletores solares térmicos – Princípio de funcionamento.....	9
2.2.2. Painéis fotovoltaicos – Princípio de funcionamento	12
2.2.3. Painel solar híbrido.....	14
2.3. Fornecimento de energia elétrica.....	18
2.4. Enquadramento legislativo	21
2.4.1. Eletricidade.....	21
2.4.2. Energia Térmica	22
2.5. Dimensionamento de sistemas de energia solar	23
2.5.1. Localização.....	23
2.5.2. Radiação solar.....	26
2.5.3. Perfil de consumos energéticos	26
2.5.5. Outros parâmetros	30
2.6. Ferramenta de simulação de sistemas solares híbridos – <i>Abora Hybrid Solar</i>	32
Capítulo 3. Caso de estudo: Unidade de Alojamento de Hotelaria dos Serviços de Ação Social do Instituto Politécnico de Coimbra	39
3.2. Caracterização das instalações.....	39
3.3. Análise dos consumos energéticos	42
3.1.1 Gás Natural.....	43
3.1.2 Eletricidade.....	45

3.4.	Dimensionamento da instalação	46
3.5.	Dimensionamento <i>Software Abora Solar</i>	50
3.6.	Dimensionamento de depósitos e inversores	58
3.7.	Viabilidade económica e financeira do projeto	59
3.7.1.	Investimento	60
3.7.2.	Fluxo financeiro: <i>Cash flow</i>	60
3.7.3.	Critérios de viabilidade	62
4.	Conclusão	64
	Bibliografia	66
	Anexos	70
	Anexo A. Área disponível para a instalação	70
	Anexo B. Análise dos consumos energéticos	77
	Anexo B.1. Gás natural	77
	Anexo B.2. Eletricidade	79
	Anexo C. Dimensionamento	81
	Anexo C1. Vertente térmica.....	81
	Anexo C.2. Vertente elétrica.....	81
	Anexo C.3. Potência a instalar.....	82
	Anexo C.4. Sumário dos resultados do dimensionamento pelo <i>software Abora Solar</i>	82
	Anexo D. Dimensionamento dos depósitos.....	84

Índice de Figuras

Figura 1-1: Distribuição do consumo, em tep, no alojamento por fonte de energia em Portugal (2020) (Adaptado de [4])	2
Figura 2-1: Representação esquemática dos componentes constituintes da radiação global incidente numa superfície (Adaptado de [8])	7
Figura 2-2: Mapa Europeu de energia solar horizontal por unidade de área (Adaptado de [11])	8
Figura 2-3: Imagem representativa de um coletor solar térmico com termofissão (a.) e de um painel fotovoltaico (b.)	9
Figura 2-4: Esquema do funcionamento de um coletor solar com circulação forçada (Adaptado de [14]).....	11
Figura 2-5: Placa absorvedora do coletor solar	12
Figura 2-6: Efeito fotovoltaico (Adaptado de [16])	13
Figura 2-7: Balanço energético a um PV (Adaptado de [20]).....	14
Figura 2-8: Balanço de energia a um PVT (Adaptado de [20])	15
Figura 2-9: Balanço de energia ao PVT. (Adaptado de [24]).....	15
Figura 2-10: Painel Solar Híbrido Abora	16
Figura 2-11: Fluxo energético desde a produção até ao consumidor (Adaptado de [28])	19
Figura 2-12: Estrutura tetra-horária e trimestral para determinar o custo da energia ativa (Adaptado de [29]).....	20
Figura 2-13: Orientação solar no hemisfério Norte (Adaptado de [36]).....	24
Figura 2-14: Distância de sombreamento entre fileiras de painéis solares (Adaptado de [37])	25
Figura 2-15: Árvore de decisão do número de painéis híbridos a instalar (N)	29
Figura 2-16: Esquema de telhado dividido em diferentes zonas de esforços do vento [43]	31
Figura 2-17: Mapa de vento de Portugal (a.) e painel com lancis (b.).....	31
Figura 2-18: Localização e informação meteorológica na ferramenta de simulação <i>Abora Hybrid Solar</i>	33
Figura 2-19: <i>In puts</i> requeridos pelo software <i>Abora Solar</i>	34
Figura 2-20: Necessidades energéticas simuladas pelo software <i>Abora Solar</i>	35

Figura 2-21: Modelação e configuração do sistema ferramenta de simulação <i>Abora Hybrid Solar</i>	36
Figura 2-22: Sumário dos resultados da energia produzida desta instalação.	37
Figura 2-23: Sumário dos resultados da poupança e emissões evitadas desta instalação.	37
Figura 2-24: Resumo da avaliação económica desta instalação.	38
Figura 3-1: Edifícios da residência de Bencanta (a) e da Quinta da Nora (b).....	39
Figura 3-2: Área disponível para a instalação na residência Bencanta	41
Figura 3-3: Área disponível para a instalação na residência Quinta da Nora	41
Figura 3-4: Radiação média mensal e temperatura média ambiente e da água em Coimbra ao longo de 2023.	42
Figura 3-5: Consumo de gás natural estimado para AQS e taxa de ocupação na residência Quinta da Nora	43
Figura 3-6: Consumo de gás natural estimado para AQS e taxa de ocupação na residência Bencanta	44
Figura 3-7: Potência média mensal	46
Figura 3-8: Orientação dos painéis: a) a Sul para o edifício R1 em Bencanta; b) a Sul para o edifício R31 da Quinta da Nora; c) a Sudeste para o edifício R31 da Quinta da Nora.	49
Figura 3-9: <i>Inputs</i> dos parâmetros da instalação para a residência Quinta da Nora	51
Figura 3-10: Sumário dos resultados térmicos devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Quinta da Nora (52 PVT)	52
Figura 3-11: Sumário dos resultados elétricos devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Quinta da Nora (52 PVT)	52
Figura 3-12: Curva de produção elétrica.....	53
Figura 3-13: Sumário dos resultados térmicos devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Bencanta (44 PVT)	55
Figura 3-14: Sumário dos resultados elétricos devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Bencanta (44 PVT)	55
Figura 3-15: Rendimento térmico do painel solar híbrido <i>Abora</i> relativamente à sua temperatura de operação (Adaptado de [26])	56
Figura 3-16: Modelo da instalação PVT na residência Bencanta	57
Figura 3-17: Modelo da instalação PVT na residência Quinta da Nora.....	57

Figura 3-18: Cash flows do projeto.....	61
Figura 3-19: <i>Cash flow</i> do projeto.....	61
Figura A-1: Residência em Bencanta (R1).....	70
Figura A-2: Residência da Quinta da Nora (R3).....	71
Figura A-3: Distância de sombreamento entre uma obstrução (caixa de elevador) e um painel.	72
Figura A-4: Distância mínima de segurança dos painéis ao limite dos telhados (Adaptado de [50])	74
Figura A-5: Área total disponível para instalação dos painéis na residência de Bencanta.	75
Figura A-6: Área total disponível para instalação dos painéis na residência de Quinta da Nora	76

Índice de Tabelas

Tabela 2-1: Especificações do coletor PVT AH72 SK da Abora Solar em STC	17
Tabela 2-2: Níveis de controlo da DGEG para autoprodução e consumo de eletricidade mediante a potência produzida pela UPAC (Adaptado de [30])	21
Tabela 2-3: Inclinação dos painéis	25
Tabela 2-4: Necessidade de AQS (Adaptado de [39]).....	28
Tabela 2-5: Peso e número de lancis para painel com dimensões máximas de 1800x1100 mm (21 kg)	32
Tabela 2-6: Peso e número de lancis para painel com dimensões máximas de 2100x1100 mm (24 kg)	32
Tabela 3-1: Especificações do contrato de eletricidade.....	45
Tabela 3-2: Resultado do dimensionamento	48
Tabela 3-3: Investimento do projeto.....	60
Tabela 3-4: <i>Cash flows</i> do projeto.....	61
Tabela 3-5: Critérios de avaliação da viabilidade económica e financeira do projeto..	63
Tabela A-1: Obstruções nos telhados das residências e altura, em m.	71
Tabela A-2: Distâncias entre as obstruções e os painéis.	73
Tabela B-1: Consumo global de gás natural na residência Bencanta.....	77
Tabela B-2: Consumo global de gás natural na residência Quinta da Nora	77
Tabela B-3: Consumo de gás natural estimado em AQS e percentagem de utilização de gás natural para AQS.....	78
Tabela B-4: Consumos de eletricidade em horas de ponta e cheia	79
Tabela B-5: Potência média mensal	80
Tabela C-1: Sumário dos resultados devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Quinta da Nora (52 PVT)	82
Tabela C-2: Sumário dos resultados devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Bencanta (44 PVT).....	83

Tabela D-1: Volume de água quente produzida diariamente por edifício na Quinta da Nora 84

Tabela D-2: Volume de água quente produzida diariamente por edifício na Quinta da Nora 84

Nomenclatura

Lista de símbolos

A	Área da superfície do módulo [m ²]
b	Comprimento dos painéis solares [m]
C	Carga mensal de energia [Wh]
cp	Capacidade térmica específica da água [J/(kg.K)]
d	Passo entre fileiras de painéis [m]
d1	Distância entre as fileiras de painéis [m]
G	Irradiância [W/m ²]
I	Irradiação [Wh/m ²]
L	Latitude do local [grau]
NE	Número de painéis pela vertente elétrica
NT	Número de painéis pela vertente térmica
N	Número de painéis híbridos
m	quantidade de água quente necessária por pessoa [kg]
M_{AQS}	Consumo médio diário de AQS [L]
P_{máx}	Potência nominal do painel [W]
P_{média}	Potência média [W]
P_{ponta}	Potência nas horas de ponta [W]
P_{cheia}	Potência nas horas de cheia [W]
Q_a	Necessidades médias anuais [Wh]
T_d	Temperatura da água desejada [° C]
T_s	Temperatura da água de alimentação [° C]
α	Ângulo de inclinação dos painéis solares [grau]
β	Ângulo de altitude solar às 12 horas solares do solstício de inverno [grau]
δ_s	Ângulo de declinação solar [grau]

η Rendimento

Lista de Siglas e Acrónimos

ANQIP	Associação Nacional para Qualidade nas Instalações Prediais
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AT	Alta Tensão
BTN	Baixa Tensão Normal
BTE	Baixa Tensão Especial
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
ECO.AP	Programa de Eficiência de Recursos na Administração Pública
EDP	Energias de Portugal
ELPRE	Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HC	Horas Cheias
HP	Horas Ponta
HSV	Horas Super Vazio
HV	Horas Vazio
INE	Instituto Nacional de Estatística
IR	Índice de Rentabilidade
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
MT	Média Tensão
MAT	Muito Alta Tensão
OMIP	Operador do Mercado Ibérico Português
OMIE	Operador do Mercado Ibérico Elétrico

PBP	PayBack Period
PC	Potência Contratada
PHP	Potência Hora de Ponta
PNEC	Plano Nacional de Energia e Clima
PT	Solar Térmico
PV	Fotovoltaico
PVT	Fotovoltaico-Térmico (híbrido)
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
SASIPC	Serviços de Ação Social do Instituto Politécnico de Coimbra
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
STC	Condições de Teste Standard (irradiação 1000 W/m^2 e temperatura da célula 25°C)
TIR	Taxa Interna de Retorno
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
VAL	Valor Atual Líquido

Glossário

Analisadores de eletricidade – Equipamento que permite medir o fluxo de potência num sistema elétrico e analisar vários parâmetros da energia elétrica, gerando relatórios precisos sobre a situação com base em normas e legislação em vigor, assim como registrar e armazenar dados por longos períodos de tempo.

Corpo negro – Superfície ideal que emite o máximo de radiação a uma determinada temperatura e comprimento de onda, absorve toda a energia radiante que nela incide não refletindo nenhuma e a radiação emitida é uniforme em todas as direções.

Efeito de albedo – Propriedade que descreve a quantidade de radiação solar que uma determinada superfície reflete de volta para a atmosfera.

Eurocode1 – conjunto de normas europeias relativamente ao projeto estrutural e desenvolvimento de edifícios.

Semicondutor – Sólidos geralmente cristalinos de condutividade elétrica variável, que transitam com facilidade entre os estados de condutores e isolantes elétricos.

Potência nominal – Energia elétrica ou sob forma de calor máxima que um painel pode gerar em condições de referência específicas.

Cash flow – Fluxo de fundos monetários que corresponde ao saldo dos recebimentos e dos pagamentos efetuados, durante um certo período de tempo.

Potência média da instalação – Potência que uma instalação deve disponibilizar para cobrir as necessidades elétricas de um edifício, em horas de ponta e cheia, sem que haja excedente, calculada com base nos consumos dos meses de verão e tendo em conta 20% de perdas.

Capítulo 1. Introdução

O atual cenário global de crise energética implica uma manipulação e perspectiva sobre a energia diferente da abordada no passado, quanto à sua produção e ao seu consumo.

As formas convencionais de geração de energia consistem na combustão de combustíveis fósseis, matéria rica em carbono, como o carvão mineral, gás natural e petróleo. A sua taxa de renovação é significativamente mais lenta do que a sua taxa de utilização e, além da preocupação com a escassez a prazo destas fontes, foram levantadas questões ambientais: esta combustão origina emissões de dióxido de carbono, CO₂, metano, CH₄, óxido nitroso, N₂O e fluorocarbonetos. Estes gases com efeito de estufa, GEE, capturam o calor irradiado da superfície terrestre impedindo a sua libertação no espaço, culminando no aquecimento global. Por outro lado, com o conflito entre a Rússia e a Ucrânia, vários países da Europa e do mundo sofreram cortes no fornecimento de gás natural, o que levou os preços dos combustíveis e, conseqüentemente, da eletricidade a dispararem.

Inevitavelmente associado a estes fatores está o aumento do custo de vida afetando o quotidiano das sociedades. Acredita-se que a transição energética justa pode ser sinónimo de crescimento e prosperidade económica, garantindo simultaneamente um planeta estável e seguro para as futuras gerações.

A União Europeia está na primeira linha das principais economias no combate às emissões de GEE, tendo sido conduzidas investigações com vista à redução da poluição associada à produção de energia. Em abril de 2021, a Comissão Europeia apresentou o Pacto Ecológico Europeu que propõe um pacote de medidas destinadas a reduzir as emissões de GEE de 40% para 55% até 2030 relativamente aos níveis de 1990, caminhando em direção à descarbonização da economia até 2050, em consonância com o Acordo de Paris. Isto pode ser alcançado através do investimento nas energias renováveis, eficiência energética e outras tecnologias limpas [1] [2].

Portugal participa neste movimento de mudança com a incorporação das energias renováveis no seu *mix* energético. Como Portugal não possui significativas jazidas de combustíveis fósseis, as energias renováveis são uma forma de diminuir a dependência energética exterior, criar postos de trabalho e gerar movimento financeiro, a par do

cumprimento das medidas de combate à emissão de GEE e neutralização carbónica impostas pela UE.

A energia solar é uma das fontes apontada como solução, principalmente a tecnologia fotovoltaica que permite gerar eletricidade através da radiação de forma sustentável e economicamente viável.

De acordo com o INE (Instituto Nacional de Estatística) [3], a eletricidade é a principal fonte de energia consumida nos alojamentos portugueses, tendo subido de 42,6% em 2010 para 43,1% em 2020, seguida da biomassa que representou 27,2% do total (24,2% em 2010). O consumo de gás natural teve um peso de 11,5% (9,0% em 2010). Na figura 1.1 pode-se observar a distribuição do consumo, em tep, no alojamento por fonte de energia em Portugal em 2020 [4].

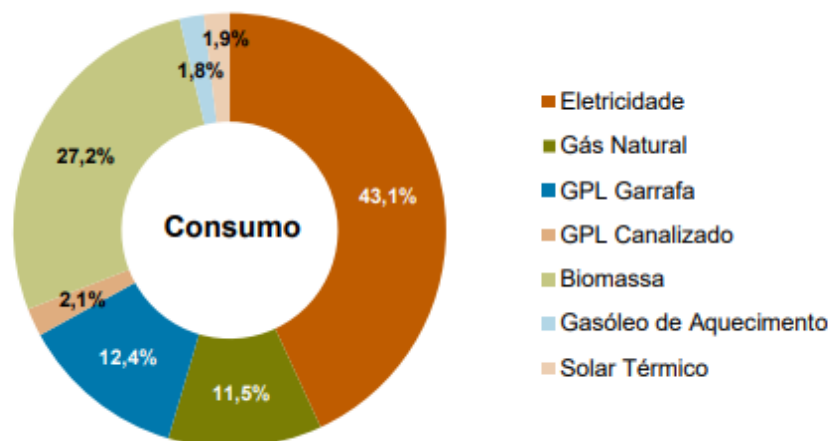


Figura 1-1: Distribuição do consumo, em tep, no alojamento por fonte de energia em Portugal (2020) (Adaptado de [4])

Na última década, destacam-se algumas alterações nos hábitos de consumo de energia dos portugueses, nomeadamente [3]:

- o consumo médio de energia por alojamento diminuiu;
- a despesa média global por alojamento aumentou;
- o consumo de energia solar térmica global quase triplicou, apesar de manter um peso reduzido no consumo energético total;
- a utilização de sistemas solares térmicos para aquecimento de águas quentes sanitárias, AQS, aumentou.

As alterações verificadas devem-se ao facto de a eletricidade ter, cada vez mais, um papel de referência nas casas portuguesas, associado ao aumento do conforto térmico na climatização, no aquecimento de águas sanitárias e à grande disponibilidade de eletrodomésticos. Consequentemente, cada vez mais se procuram opções para reduzir a fatura energética.

O preço médio da eletricidade para os consumidores domésticos portugueses representa cerca de 93% do preço médio da UE-27 (0,2286 €/kWh), colocando Portugal como o 10º país da UE com o valor mais elevado [5]. Uma solução seria os consumidores tornarem-se pequenos produtores da sua própria eletricidade e AQS a partir de fontes de energia renovável, como a solar, para autoconsumo e/ou para vender à rede [6].

1.1. Enquadramento e objetivos

Por todo o mundo, novas tecnologias e projetos são desenvolvidos para solucionar a problemática referida, com um número crescente de adesão por parte das mais diversas entidades. Verifica-se um progresso significativo no setor combinado de eletricidade renovável e de produção de calor a partir de energia solar com base em painéis fotovoltaicos e térmicos, também conhecidos como painéis solares híbridos (PVT).

O correto dimensionamento destes sistemas permite maximizar a produção de energia num edifício e é um ponto de partida para que esta tecnologia prolifere.

Assim, o trabalho apresentado no âmbito desta dissertação tem como objetivo principal potenciar uma instalação de painéis solares híbridos, para produção de energia com vista ao autoconsumo.

Para isso elaborou-se uma revisão bibliográfica sobre a tecnologia PVT e em seguida a sistematização de todas as fases que conduzem a uma metodologia adequada para realizar o diagnóstico e dimensionamento até à instalação do sistema. De modo a desenvolver um trabalho mais específico e prático, facilitando o entendimento do processo, efetuou-se um caso de estudo à Unidade de Alojamento e Hotelaria dos Serviços de Ação Social do Instituto Politécnico de Coimbra, onde se aplicaram os conhecimentos adquiridos.

1.2. Filotipo – Soluções de Eficiência Energética e Hídrica

A Filotipo é uma empresa de engenharia especializada na redução dos consumos e custos de energia e água dos seus clientes, servindo-se de serviços de engenharia, consultoria, entre outros.

Foi fundada em 2009 pelos atuais sócios em Matosinhos, Porto. Conta com uma equipa qualificada e diversificada de colaboradores de diversos setores que, associado à experiência e conhecimento na área da eficiência energética e hídrica, está preparada para oferecer soluções utilizando as mais modernas tecnologias. Estas tecnologias passam essencialmente pelo autoconsumo energético a partir de microcogeração, sistemas de biomassa, painéis solares híbridos, desenvolvidos pela empresa espanhola *Abora Solar* e armazenamento de energia em baterias de lítio. A atividade inclui ainda a gestão de contratos de energia, monitorização de consumos térmicos e elétricos e auditorias hídricas. As soluções são constantemente personalizadas e adequadas à necessidade de cada infraestrutura, edifício ou cliente.

Como proposta de valor pretende desenvolver soluções de forma compatível com as mais elevadas exigências a nível ambiental, e muito para além da sua venda, ou seja, baseadas no diagnóstico, dimensionamento, integração e instalação.

Posto isto o público-alvo são organizações e consumidores que pretendam efetivamente reduzir os custos da sua fatura energética nomeadamente eletricidade, gás e água.

Assim, a empresa conta com mais de 3000 projetos de poupança executados, mais de 2000 toneladas de emissões evitadas por ano e mais de 100 000 m³ de água poupados por ano.

1.3. Estrutura da dissertação

O Capítulo 1 apresenta um breve enquadramento sobre a dissertação, contextualizando o tema, delineando objetivos e referindo o lugar que ocupa nas atividades da empresa. É também feita uma descrição sucinta da empresa, passando pela sua história, situação atual e perspetivas futuras.

O Capítulo 2 consiste numa revisão bibliográfica sobre o tema, onde são expostos conceitos importantes para o posterior desenvolvimento do trabalho. Introduce as principais tecnologias de conversão de energia solar, térmica, fotovoltaica e híbrida, abordando o seu princípio de funcionamento, fornecimento e armazenamento. Aborda ainda o enquadramento legislativo que vigora sobre este tema em Portugal. Este capítulo termina com uma exposição dos fatores avaliados no dimensionamento de um sistema PVT e o funcionamento do *software* utilizado para esse efeito - *Abora Hybrid Solar*.

O Capítulo 3 serve para desenvolver o caso de estudo da presente dissertação. É feita uma contextualização do caso, descrição do alojamento em análise e do perfil de consumos energéticos. Com a informação apresentada procede-se à conceção do sistema energético, através do dimensionamento de uma instalação capaz de suprir as necessidades em causa, utilizando como complemento o *software* da *Abora Solar*. Neste mesmo capítulo é ainda feita uma breve abordagem à viabilidade económica do projeto.

Capítulo 2. Estado da Arte

Para desenvolver os objetivos propostos realizou-se uma revisão bibliográfica sobre tecnologias de produção e dimensionamento de energia térmica e elétrica, nomeadamente painéis solares térmicos, fotovoltaicos e híbridos, mais especificamente os painéis híbridos da *Abora Solar*. Foi também realizado um enquadramento sobre a legislação atualmente em vigor relativamente à autoprodução de energia, com destaque para a solar.

2.1. Energia solar

O Sol emite energia que atinge a Terra na forma de ondas eletromagnéticas, fenómeno conhecido como radiação solar. Esta divide-se em três componentes: radiação direta, atinge diretamente a superfície da Terra; radiação difusa, dispersa pela atmosfera por ação da difração das nuvens, nevoeiro, poeiras em suspensão e outros obstáculos; radiação refletida, resultante da reflexão dos objetos circundantes [7]. A figura 2.1 ilustra as três formas de radiação solar.

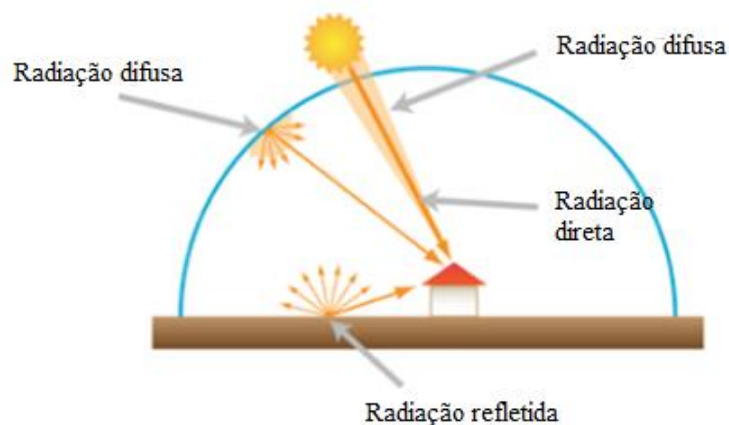


Figura 2-1: Representação esquemática dos componentes constituintes da radiação global incidente numa superfície (Adaptado de [8])

Uma forma de contabilizar a intensidade com que a radiação solar atinge a Terra é introduzindo o conceito de irradiância, G , que quantifica a energia de radiação incidente numa superfície por unidade de área (em todas as direções e em todos os comprimentos de onda), cuja unidade padrão é o watt por metro quadrado [W/m^2]. Quando integrada num intervalo de tempo especificado, surge a irradiação, I , [Wh/m^2].

Tal como se pode comprovar pela figura 2.2, Portugal é dos países com maior potencial de aproveitamento de energia solar na Europa, uma vez que apresenta uma das maiores irradiações, cerca de 1400 a 1800 kWh/m² [9] [10].

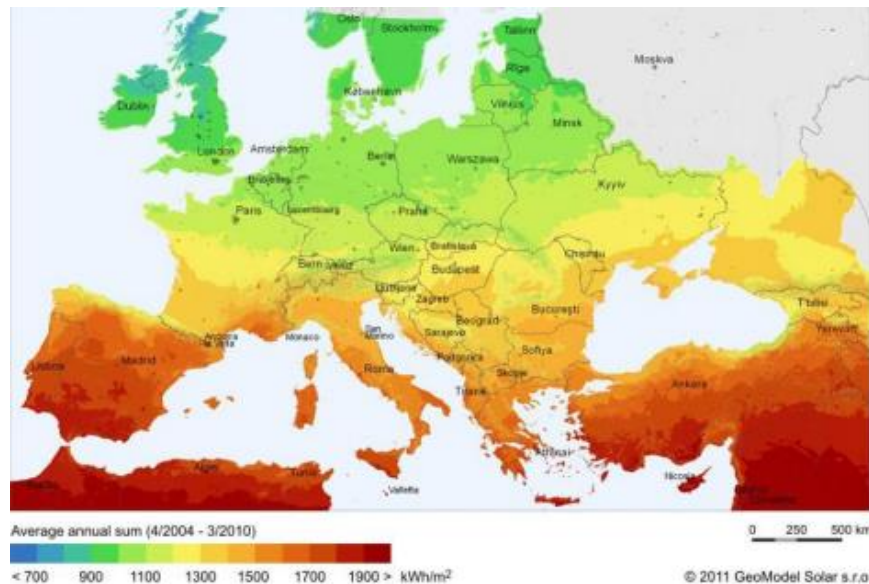


Figura 2-2: Mapa Europeu de energia solar horizontal por unidade de área (Adaptado de [11])

As fontes de energia renováveis permitem converter fenómenos naturais em energia útil recorrendo a um conjunto de tecnologias não poluentes, ocupando assim um importante espaço no pacote de medidas do Pacto Ecológico Europeu. Estes recursos apresentam alto potencial, sendo que o problema reside na sua conversão total. A par com a variabilidade regional e temporal, isto levanta desafios tecnológicos e económicos. Atualmente realizam-se progressos significativos na eficiência de conversão, baixando o custo inicial dos equipamentos e da manutenção [12].

2.2. Conversão de energia solar

As formas mais comuns de aproveitamento da energia solar é a sua conversão em energia térmica e em energia fotovoltaica (elétrica), com aplicações a nível doméstico, comercial e industrial.

A energia térmica é essencialmente utilizada no aquecimento de águas sanitárias. Nas residências e pequenos comércios, a água aquecida fica disponível para uso banhear, em lavandarias, cozinhas, torneiras em geral, aquecimento de piscinas, entre outros. A nível industrial é exigida energia sob a forma de calor numa gama de temperaturas média e média-alta, entre 80°C e 250°C. Neste meio é muito utilizada para aquecimento de líquidos de lavagem, processos químicos como tinturaria, aquecimento de ar em

secadores e geradores de vapor [13]. Para a conversão de energia solar em térmica utilizam-se coletores solares, figura 2.3.a.

A energia fotovoltaica pode ser utilizada no fornecimento de eletricidade diretamente ligada à rede elétrica, em sistemas autônomos de iluminação e iluminação pública, como fonte de alimentação em sistemas de comunicação, entre outros. Para a conversão em energia fotovoltaica utilizam-se painéis solares fotovoltaicos, figura 2.3.b.

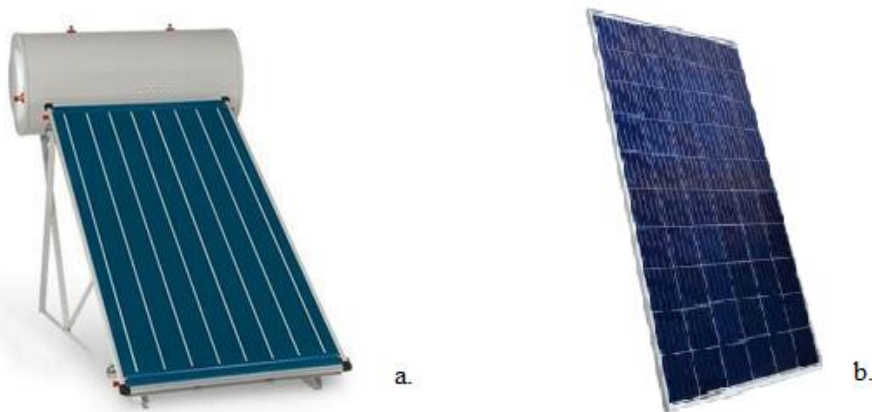


Figura 2-3: Imagem representativa de um coletor solar térmico com termofissão (a.) e de um painel fotovoltaico (b.)

2.2.1. Coletores solares térmicos – Princípio de funcionamento

Nos coletores solares térmicos o calor é gerado através de uma placa metálica absorvedora. A radiação solar, visível ou ultravioleta, atravessa um vidro e atinge a placa absorvedora que emite essa radiação num comprimento de onda infravermelho. Como o vidro é opaco à radiação IV (infravermelho) cria-se efeito estufa, levando ao aquecimento do sistema. Na placa está incorporado um sistema de tubos para transferir o calor gerado para um fluido de transferência térmica, que por sua vez flui para o depósito de armazenamento de água quente através de tubagens, ambos termicamente isolados. No depósito o calor é transferido indiretamente do fluido para a água da rede através de um permutador de calor.

O fluido de transferência arrefecido escoar de volta para o coletor onde será reaquecido. Entretanto, dentro do depósito, a água quente sobe, criando-se uma estratificação térmica, na qual a água aquecida está no topo pronta para consumo, saindo pela parte superior do depósito, e uma nova quantidade entra no depósito, acumulando-se na parte inferior.

Na maioria dos sistemas, o fluido de transferência térmica circula num sistema fechado, e é uma mistura de água com anticongelante (glicol) para evitar o risco de congelamento no inverno.

O sistema é ainda constituído por um sistema de controlo diferencial, um purgador de ar, filtros e válvulas.

Os coletores podem ser de dois tipos:

- **Painel com termossifão** (figura 2.3), cujo depósito de água fica junto ao painel, instalado por cima do mesmo. Neste caso, o movimento do fluido térmico ocorre devido às diferentes densidades dos fluidos quando a temperaturas diferentes: quando o fluido térmico aquece, torna-se menos denso, provocando a sua subida do painel para o depósito. A troca de calor com a água de consumo e conseqüente arrefecimento do fluido provoca a sua descida para o painel devido ao aumento de densidade do mesmo.
- **Painel com circulação forçada** (figura 2.4), neste em vez do depósito ficar junto ao painel, é colocado no interior do edifício. Neste caso, quando a diferença de temperatura entre o fluido térmico e a água do depósito (*set-point*) atinge um valor pré-estabelecido (maior ou igual a 6°C) a bomba de circulação é ativada e o fluido aquecido no coletor circula para o depósito, aquecendo a água até atingir o valor do *set-point*. O depósito pode ainda ter uma fonte auxiliar de produção de água quente, quando não se atinge o *set-point*.

Os equipamentos principais e o funcionamento de um coletor solar com circulação forçada estão esquematizados na figura 2.4.

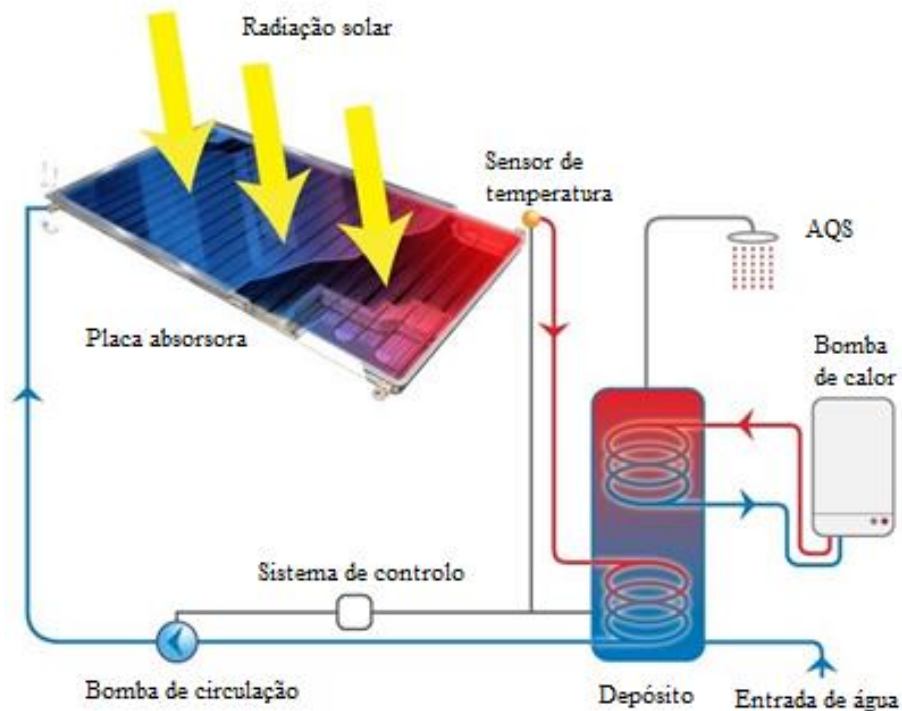


Figura 2-4: Esquema do funcionamento de um coletor solar com circulação forçada
(Adaptado de [14])

Placa absorvedora

A placa absorvedora, figura 2.5, é uma peça fundamental que consiste numa chapa metálica, em alumínio ou cobre, com um revestimento de pintura preto baço. Comportase aproximadamente como um corpo negro logo está otimizado para ter a maior capacidade de absorção e a menor emissividade térmica possível, maximizando a conversão de radiação e minimizando perdas.

Para reduzir as perdas de calor para o ambiente, o coletor tem uma camada de isolamento entre a caixa e a placa. O sistema está inserido numa caixa de alumínio e é protegido com uma cobertura transparente, que provoca o efeito de estufa e reduz as perdas. A cobertura deve possuir características que permitam uma elevada transmissão e uma baixa reflexão da luz, como o vidro. Para além disso deve assegurar a estanquicidade do coletor à água e ao ar, resistir à pressão do vento, choques térmicos e impacto de objetos.

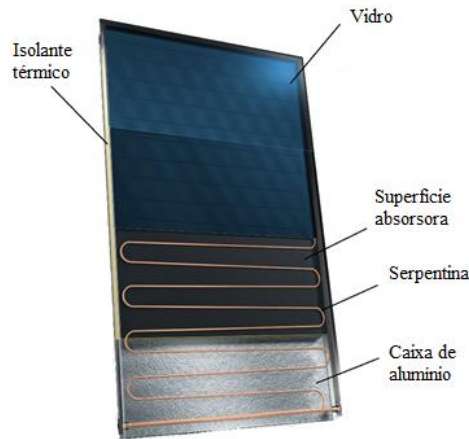


Figura 2-5: Placa absorvedora do coletor solar

Depósitos

Os depósitos podem ser de diferentes modelos com permutadores incorporados, como serpentinas ou camisa. Na escolha do depósito é importante um bom isolamento térmico, como lã de rocha, e uma relação superfície/volume baixa para minimizar perdas de energia: o depósito deve ser longo e estreito de forma a possibilitar uma boa estratificação de temperatura.

Na maioria das instalações de AQS, é exigida uma gama de temperaturas para a água que pode não ser suprida pelo coletor solar térmico, por exemplo, num dia em que a irradiação seja baixa. Neste caso, além do coletor deve existir uma fonte alternativa de energia, como uma bomba de calor. A serpentina responsável pela troca de calor entre o fluido da bomba de calor e a água do depósito deve estar a uma cota superior à serpentina que transfere o calor proveniente do coletor solar, para que os diferenciais de temperatura sejam menores e o consumo seja também menor, como se pode verificar na figura 2.4.

2.2.2. Painéis fotovoltaicos – Princípio de funcionamento

A conversão direta da radiação solar em eletricidade é feita através de painéis fotovoltaicos (PV) compostos por células fotovoltaicas. Uma célula, unidade base do sistema fotovoltaico, apresenta potência elétrica reduzida. Para disponibilizar potências mais elevadas as células são integradas em conjunto, formando um módulo. A maioria dos módulos comercializados são compostos por 130 a 170 células de silício cristalino, ligadas em série. Quanto maior o módulo, maior será a potência e/ou a corrente disponível [15].

O seu funcionamento baseia-se no efeito fotovoltaico que consiste no movimento dos elétrons de valência quando a radiação incide num semicondutor, como o silício. Nas células fotovoltaicas implementa-se a chamada dopagem do silício, isto é, a introdução de elementos estranhos na rede cristalina com objetivo de alterar as suas propriedades elétricas. Com a dopagem criam-se duas camadas na célula que possuem um excesso de cargas positivas e um excesso de cargas negativas, relativamente ao silício puro. Entre as camadas cria-se um campo elétrico que separa os portadores de carga que a atingem.

Quando uma célula é exposta à luz, os fotões são absorvidos pelos elétrons que ultrapassam o campo elétrico criando uma corrente contínua (CC). Quando se ligam os terminais da célula a um circuito exterior que se fecha através de uma carga, circula corrente elétrica, figura 2.6. No entanto, uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, apenas mantém o fluxo de elétrons estabelecido enquanto houver incidência de luz sobre ela [16] [17] [18].

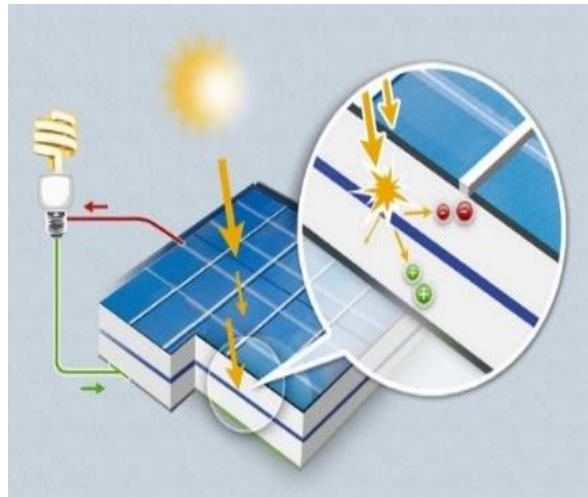


Figura 2-6: Efeito fotovoltaico (Adaptado de [16])

Estes sistemas são principalmente constituídos por três equipamentos: os módulos, um inversor fotovoltaico e uma estrutura de fixação. Os primeiros são o agregado de células a partir do qual a energia elétrica é gerada. Os inversores são dispositivos que fazem a ligação entre o painel, corrente contínua e a corrente alternada (CA) dos equipamentos ou da rede. Convertem o sinal elétrico da CC num sinal de CA e, numa fase posterior, ajusta o sinal para a frequência e nível de tensão da rede à qual está ligado. A estrutura, de alumínio ou aço inoxidável sustenta os módulos, levando em consideração o local de instalação e inclinação dos módulos [19].

O sistema PV pode funcionar de duas formas [18]: *on grid* ou *off grid*. *On grid*, quando conectado à rede pública de distribuição elétrica (RESP). Se uma unidade produz mais energia do que é consumida, o excedente é enviado à rede pública ou vendido a um comercializador de eletricidade. Por outro lado, se o sistema não gerar energia suficiente para o consumo, a rede pública complementará com a restante. *Off grid*, quando opera de forma autónoma da rede pública (RES).

Em ambos os casos, a energia pode ser armazenada em baterias em CC e é posteriormente convertida em CA para ser consumida. Esta ficará armazenada para ser utilizada mesmo em épocas em que o sistema não esteja a gerar energia. Este sistema é mais indicado para locais remotos, como áreas rurais, porque o seu uso não depende da rede pública de energia. A energia excedente produzida, seja em *on* ou *off grid*, pode ainda ser dissipada através dos inversores, o que normalmente é designado de injeção zero.

2.2.3. Painel solar híbrido

A produção de energia a partir de PV está relacionada, entre outros aspetos, com a temperatura de operação do painel. A eficiência de conversão dos painéis fotovoltaicos é bastante baixa porque cerca de 75% da energia solar que atinge o painel perde-se na forma de calor e cerca de 5% é refletida, não chegando sequer a atingir as células. Ou seja, um painel PV é capaz de aproveitar cerca de 20% da radiação incidente, figura 2.7.



Figura 2-7: Balanço energético a um PV (Adaptado de [20])

A combinação das tecnologias solares térmicas (PT) e da tecnologia solar fotovoltaica (PV) num único sistema é chamada sistema híbrido fotovoltaico/térmico (PVT), um equipamento de cogeração que produz eletricidade e calor simultaneamente.

O principal objetivo é aumentar a eficiência do painel e por sua vez a rentabilidade bem como prolongar a sua vida útil. O PVT aproveita a radiação solar dissipada sob forma de perdas de calor para o aquecimento de AQS mantendo a conversão em energia PV num nível satisfatório, quando há sobreaquecimento das células. Isto numa área menor do que os PT e PV a operar separadamente, tornando estes sistemas particularmente interessantes para aplicações onde a área disponível é limitada: a ECN (Centro de Pesquisa Energética dos Países Baixos) conduziu uma investigação onde concluiu que é possível reduzir a área do coletor em quase 40% usando PVT em vez dos sistemas

individuais [21]. Ainda, a radiação dissipada culmina no aquecimento das células levando a uma redução da eficiência elétrica do sistema: por cada grau que aumenta a temperatura do painel pode haver uma redução de até 0,5% na eficiência elétrica do sistema [22] [23].

Com esta solução a radiação pode ser aproveitada até cerca de 70% em energia PT e 19% em energia PV. Ou seja, a eficiência de conversão em energia elétrica é praticamente igual ao painel PV, mas bastante mais estável pois as células podem ser arrefecidas quando a sua temperatura aumenta. As perdas de radiação como calor são praticamente eliminadas, para cerca de 8%, culminando numa eficiência global do painel que ascende a 89%, figura 2.8 [24] [20].

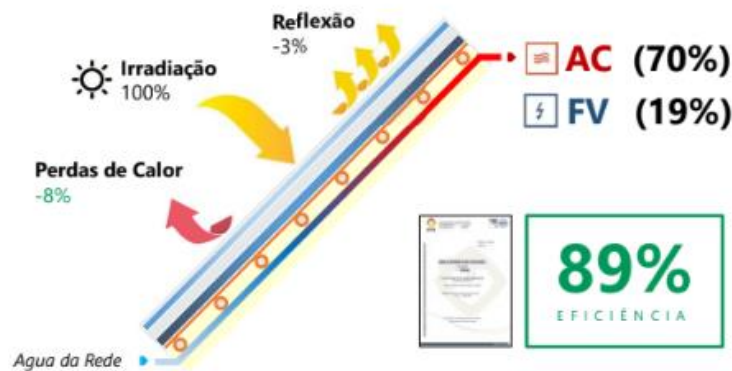


Figura 2-8: Balanço de energia a um PVT (Adaptado de [20])

O desempenho do PVT resulta da combinação das eficiências elétrica e térmica. A figura 2.9 representa o balanço de energia global efetuado a um PVT.

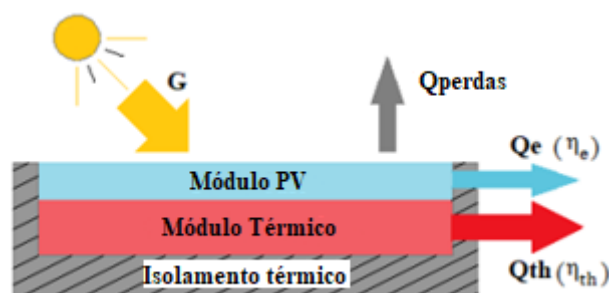


Figura 2-9: Balanço de energia ao PVT. (Adaptado de [24])

A eficiência elétrica, η_e , e a eficiência térmica η_{th} são dadas por:

$$\eta_e = \frac{Q_e}{G \times A} \quad \text{Equação 2.1}$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_{th}}{G \times A} \quad \text{Equação 2.2}$$

Para avaliar a performance global do PVT utiliza-se uma eficiência global, η_0 :

$$\eta_0 = \eta_e + \eta_{th} \quad \text{Equação 2.3}$$

Q_e – potência elétrica produzida pelos módulos [W]

Q_{th} – potência térmica produzida pelos módulos [W]

G – radiação solar incidente à normal da superfície (irradiância) [W/m²]

A – área da superfície do coletor [m²]

Painel Solar Híbrido Abora

Esta dissertação incide sobre o coletor PVT de base líquida desenvolvido pela empresa espanhola *Abora Solar*, figura 2.10. Este coletor apresenta uma cobertura e um isolamento frontal, que consiste numa camada extra de vidro para reduzir as perdas de calor por convecção pela superfície superior do painel. As células PV estão em contato com o recuperador de calor, um sistema de tubos condutores de calor onde circula o fluido térmico, e o devido isolamento para minimizar as perdas pela parte inferior. Entre o isolamento frontal e módulo PV circula uma mistura de gases inertes que retém o calor a ser transferido para o recuperador [25].

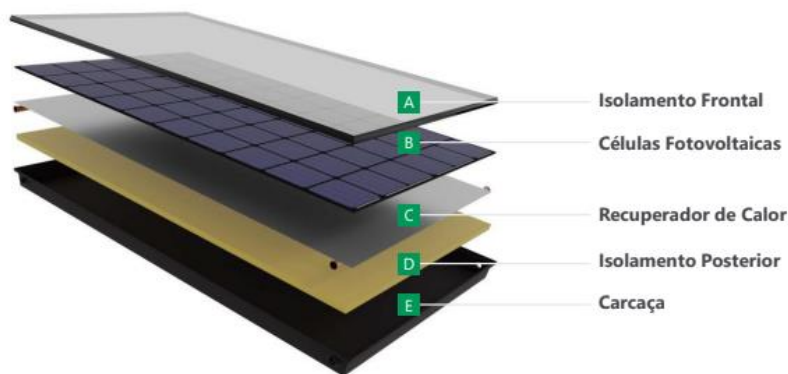


Figura 2-10: Painel Solar Híbrido Abora

A potência nominal fotovoltaica do painel ($P_{m\acute{a}x}$) é 350 W em STC (condições de teste *standard*) e a potência do coletor térmico a 0K é 1372 W. A área de coletor de 1,96 m², composto por 72 células monocristalinas. O fluido térmico é água com glicol e é bombeado através de uma bomba pelo circuito hidráulico. As principais especificações e características do coletor Abora PVT encontram-se na tabela 2.1 [26].

Tabela 2-1: Especificações do coletor PVT AH72 SK da Abora Solar em STC

Especificações Gerais		Especificações Elétricas		Especificações Térmicas	
Medidas	1970 × 995 × (85+22) mm	Eficiência do módulo	17 %	Coefficiente de perdas térmicas	5,98 W/m ² .K
Área de abertura	1,88 m ²	Tolerância de potência	0/ +3% W	Volume líquido interior	1,78 L
Estrutura	Alumínio	Coefficiente de temperatura	-0,41 %/ °C	Nº conexões hidráulicas	4
Dimensões das células	156 x 156 mm	Temperatura NOCT	45 +/-2°C	Caudal nominal	60 L/h
Vidro Frontal	32 mm temperado			Eficiência térmica	70%
				Rendimento ótico	0,7

Os parâmetros técnicos presentes que caracterizam o desempenho do PVT são:

- Área de abertura – área através da qual a radiação passa para o coletor;
- Eficiência do módulo, η_e – potencial de conversão da luz solar em energia elétrica (equação 2.1);
- Tolerância de potência – intervalo de desvio da potência máxima produzida pelo painel;
- Coeficiente de temperatura – energia dissipada por cada °C que o painel estiver mais quente do que 25°C (temperatura do painel em STC);
- Temperatura NOCT – temperatura que o painel solar atingiu no laboratório quando submetido a 800 W/m² de irradiância a uma temperatura ambiente de 20°C e vento de 1m/s;
- Coeficientes de perdas térmicas, α – potência térmica perdida por unidade de área e por unidade de temperatura;
- Eficiência térmica, η_{th} – potencial de conversão da luz solar em energia térmica (equação 2.2);
- Rendimento ótico – capacidade de absorção da radiação incidente.

2.3. Fornecimento de energia elétrica

Para o dimensionamento de um sistema de painéis solares é extremamente importante a análise dos consumos energéticos de modo a compreender quais as despesas e em que momentos ocorrem num dado edifício.

A cadeia de valor no setor elétrico integra a produção, transporte, distribuição, comercialização e consumo de energia elétrica. No regime de mercado livre os consumidores podem livremente escolher o seu fornecedor, tendo à sua disponibilidade mais de 20 comercializadores, tais como a EDP (Energias de Portugal), Endesa, Galp e Iberdrola. Já no mercado regulado os preços são fixados anualmente pela ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) [27].

Um equipamento elétrico consome dois tipos de energia: energia ativa, que executa trabalho; energia reativa, que não realiza trabalho, mas produz campos eletromagnéticos necessários para o funcionamento do equipamento [27] [28].

Posto isto, as parcelas de uma fatura energética consistem em [27]:

- Potência contratada (PC): potência que o comercializador coloca à disposição do cliente. É escolhida pelo cliente doméstico até 41,4 kW, tendo em conta o número e potência dos equipamentos elétricos instalados e o seu regime de funcionamento, em especial a simultaneidade. Para potências superiores a 41,4 kW pode ser contratado qualquer valor dentro de limites regulamentares definidos, sendo o valor da potência contratada controlado, para efeitos tarifários, por meio de indicador da potência máxima tomada em períodos de 15 minutos;
- Potência horas de ponta (PHP): corresponde ao quociente mensal entre a energia ativa consumida em horas de ponta e o número de horas de ponta;
- Tarifa de comercialização (Energia Ativa): valor definido por cada comercializador de forma livre, relacionado com a concorrência. Pode ser uma tarifa fixa ou indexada ao mercado (Operador de Mercado Ibérico Elétrico (OMIE));
- Energia reativa: quando aplicável, reflete o custo da energia reativa;
- Tarifa de acesso às redes: reflete o custo das infraestruturas e dos serviços utilizados por todos os consumidores de forma partilhada.

Para fornecer ou receber energia elétrica é necessário fazer ligação à rede elétrica de distribuição pública. A eletricidade é transportada em muito alta e alta tensão e entregue à rede de distribuição em média ou baixa tensão, em função da tipologia dos consumidores, segundo a figura 2.11 [27] [28].

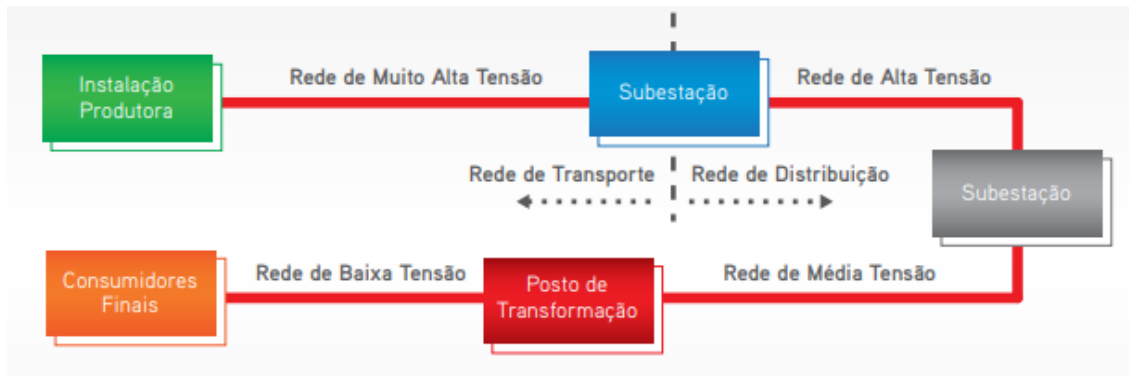


Figura 2-11: Fluxo energético desde a produção até ao consumidor (Adaptado de [28])

As parcelas incluídas numa fatura diferem consoante o nível de tensão:

- Baixa tensão normal (BTN): clientes residenciais, lojas, escritórios, fornecidas em baixa tensão e onde a PC está entre 1,15 e 41,4 kW;
- Baixa tensão especial (BTE): pequenas e médias empresas, fornecidas em baixa tensão e com PC superior a 41,4 kW;
- Média tensão (MT): pequenas e médias empresas, fornecidas em média tensão.
- Alta tensão (AT): médias e grandes empresas, fornecidas em alta tensão.

A PC em MT e AT é definida para os seguintes 12 meses em função do maior consumo determinado durante períodos de 15 minutos. Para BTN e BTE é geralmente fixa.

Assim, para BTN as parcelas de uma fatura reduzem-se à potência contratada e energia ativa. Para os restantes níveis de tensão as faturas incluem a potência contratada e potência em horas de ponta, energia ativa e energia reativa [28].

Os preços da energia ativa são diferentes ao longo do dia e do ano, estando diferenciados por [28]:

- Estrutura tetra-horária
 - Horas fora do vazio: Horas de Ponta (HP) e Horas Cheias (HC)
 - Horas de vazio: Horas de Vazio Normal (HV) e Horas de Super Vazio (HSV)

- Trimestre
 - Período I e IV (inverno): de 01/01 a 31/03 e de 01/10 a 31/12
 - Período II e III (verão): de 01/04 a 30/09

O preço de cada período horário está relacionado com a procura de energia elétrica no mercado nacional. As horas de ponta e de super-vazio são, respetivamente, as que apresentam maior e menor ocupação da rede de distribuição. Os períodos horários podem ainda ser contabilizados num ciclo diário ou semanal, sendo que para consumidores em AT e MT aplica-se ciclo semanal e consumidores em BTE e BTN aplica-se ciclo semanal ou ciclo diário [29].

O consumidor deverá analisar os seus hábitos de consumo de energia elétrica e perceber se deverá optar pelo ciclo diário ou pelo ciclo semanal. A escolha da opção tarifária mais adequada pode representar poupanças significativas na fatura de eletricidade.

Na figura 2.12 está representada a estrutura tetra-horária e trimestral para determinar o custo da energia ativa [29].

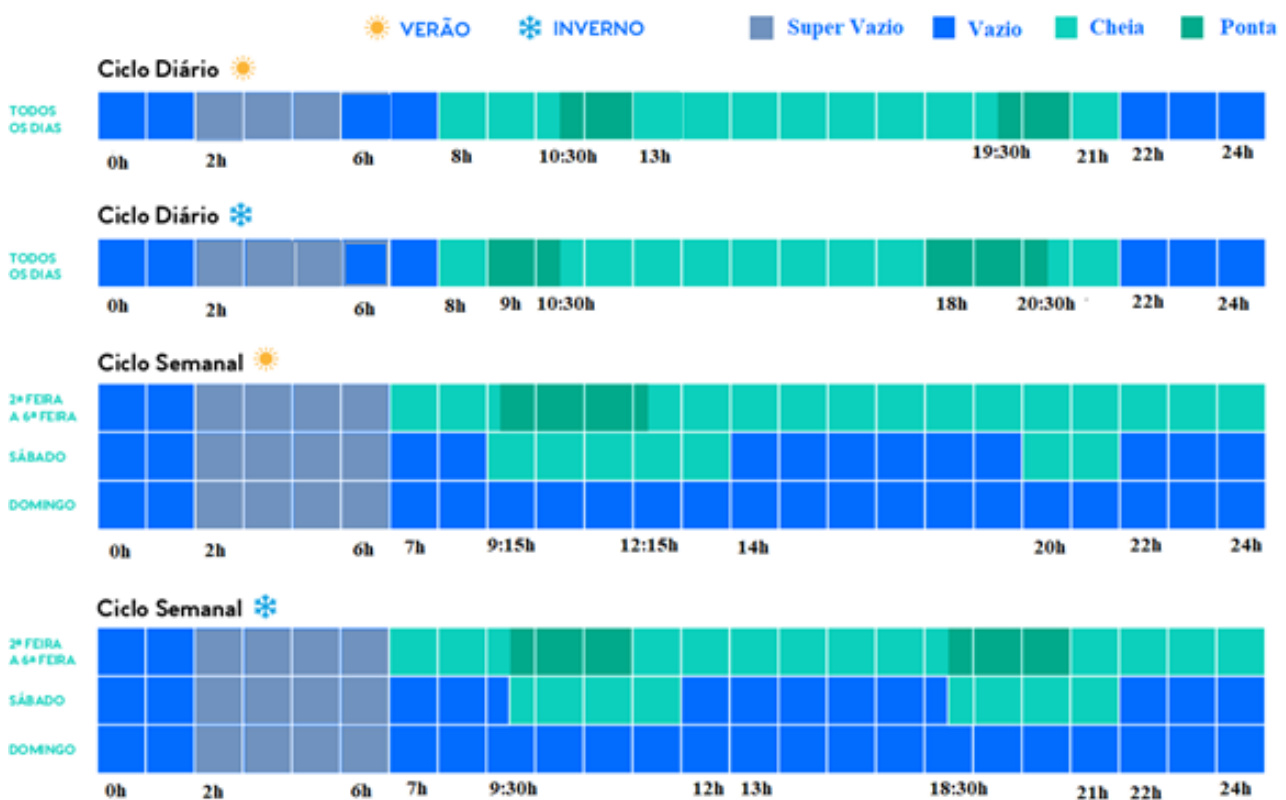


Figura 2-12: Estrutura tetra-horária e trimestral para determinar o custo da energia ativa
(Adaptado de [29])

2.4. Enquadramento legislativo

Este subcapítulo tem como objetivo esclarecer de forma breve alguns pontos do enquadramento legislativo de painéis solares e sistemas de recolha de energia nos quais estes equipamentos estão integrados.

2.4.1. Eletricidade

Foi publicado no Diário da República o regime jurídico de produção de energia renovável para autoconsumo, com um Decreto-Lei n.º 162/2019, que enquadra todos os direitos e deveres dos cidadãos e entidades que pretendam investir em instalações de microgeração de eletricidade e AQS. Esta legislação tem como finalidade concretizar as metas definidas no âmbito do PNEC (Plano Nacional de Energia-Clima) 2030, nomeadamente alcançar uma quota de 47% de energia vinda de fontes renováveis no consumo final bruto em 2030, bem como reduzir o preço do consumo de eletricidade para quem adira ao autoconsumo [30].

Neste decreto-lei, em vigor desde o dia 1 de janeiro de 2020, estabelece-se o regime jurídico aplicável a nível individual e coletivo. As Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) são instalações de produção de eletricidade de origem renovável. Distinguem-se pelo facto de terem obrigatoriamente de estar ligadas a um ponto de consumo e a um contador de eletricidade, enquanto outras unidades de produção são mais orientadas para o negócio de venda de energia podendo limitar-se a injetar eletricidade na rede [30].

O novo regime abrange vários níveis de controlo pela DGEG (Direção-Geral de Energia e Geologia), dependendo da potência produzida pelos painéis, de acordo com a tabela 2.2 [30].

Tabela 2-2: Níveis de controlo da DGEG para autoprodução e consumo de eletricidade mediante a potência produzida pela UPAC (Adaptado de [30])

Potência produzida	Controlo
0 – 350 W	Não precisa de qualquer registo na DGEG
350 W – 30 kW	Comunicação prévia à DGEG
30 kW – 1 MW	Registo na DGEG e certificado de exploração
> 1 MW	Licença de produção e exploração

Os consumidores-produtores são livres de instalar o número de painéis que pretendam, desde que a potência instalada não ultrapasse a contratada. Este regime permite a venda à rede de energia excedentária. O preço de venda será livremente fixado entre os produtores e os comercializadores contratados para a compra. Estão previstos dois regimes remuneratórios: o regime geral, em que a tarifa de venda de eletricidade é igual ao custo da energia do tarifário aplicável pelo comercializador; e o regime bonificado, em que o produtor é remunerado com base na tarifa de referência que vigorar à data da emissão do certificado de exploração [31].

Relativamente à capacidade de injeção de energia na RESP (Rede Elétrica de Serviço Público), o governo decreta que a capacidade disponível é atualizada segundo atribuições efetuadas comunicadas pelos respetivos operadores de rede à DGEG. A licença de produção emitida pode estabelecer valores diferentes para a potência máxima injetável na rede, podendo estabelecer restrições predefinidas para a totalidade ou parte da capacidade de injeção [32] [33].

2.4.2. Energia Térmica

A instalação de sistemas solares térmicos para AQS em edifícios novos é obrigatória sempre que haja exposição solar adequada, no entanto o valor máximo da área dos coletores pode ser reduzido a 50% da área de cobertura com exposição solar adequada mediante justificação fundamentada [34].

Para efeitos do disposto nos artigos 6.º a 8.º do Decreto-Lei n.º 101 -D/2020, de 7 de dezembro, os sistemas solares térmicos dos edifícios novos ou renovados devem obedecer a requisitos, tendo-se selecionado os mais importantes no âmbito deste trabalho [35]:

- Os sistemas devem ser certificados por laboratório credenciado de acordo com as Normas EN 12976 ou 12975, respetivamente;
- De forma a otimizar o seu funcionamento, recomenda-se que o sistema assegure entre 50% a 75% das necessidades anuais de AQS;
- O sistema deve ser responsável pelo aquecimento, em exclusivo, da parte mais fria do depósito de acumulação, cabendo ao sistema de apoio o aquecimento da respetiva parte mais quente;
- O circuito primário deve ser fechado, não podendo estar ligado à rede de abastecimento de água.

2.5. Dimensionamento de sistemas de energia solar

O dimensionamento deve ser efetuado de forma criteriosa, considerando os custos do sistema em relação à capacidade de produção de energia. O projeto e dimensionamento é efetuado com auxílio de algoritmos criados para o efeito. No entanto, é importante perceber os parâmetros envolvidos de forma a adaptar o sistema a cada caso em concreto. Este processo depende essencialmente dos parâmetros:

- Localização: avaliar a viabilidade técnica atendendo ao recurso solar disponível, espaço nos telhados ou terrenos, orientação, ângulo de inclinação, sombras e requisitos estéticos do local;
- Radiação solar: avaliar a incidência e horas solares disponíveis;
- Perfil dos consumos energéticos: avaliar as necessidades energéticas para alimentar as cargas;
- Dimensionamento dos principais componentes do sistema: inversores e depósitos;
- Outros parâmetros como disponibilidade financeira, vento e peso da estrutura.

2.5.1. Localização

Por questões de segurança e integração arquitetónica o telhado é normalmente determinado como a área de localização, embora não seja a zona mais próxima do sistema de armazenamento ou dos contadores.

Um painel solar imóvel deve ser instalado com a orientação e inclinação que maximize a radiação incidente e, assim, a energia produzida.

A posição em que a luz incide perpendicularmente na superfície do painel maximiza a radiação que lhe chega. Na figura 2.13 é possível observar como a orientação influencia significativamente a captação de radiação solar.

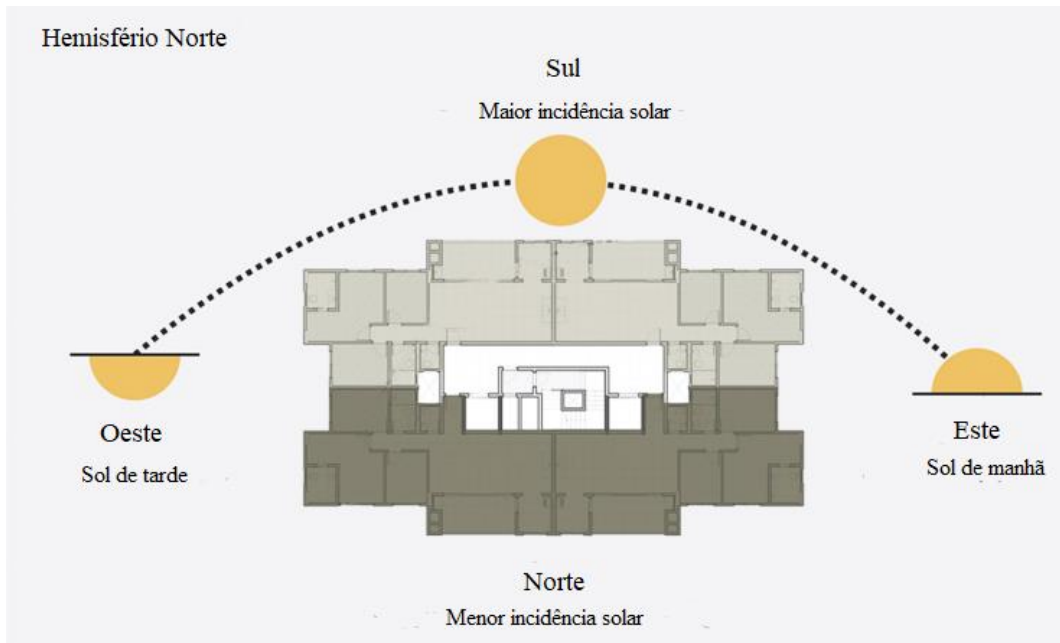


Figura 2-13: Orientação solar no hemisfério Norte (Adaptado de [36])

Da figura 2.13 é possível concluir [36]:

- No hemisfério norte, a orientação ótima é 0° , ou seja, para o sul geográfico. Naturalmente por vezes tal não se verifica, devido a sombras criadas pela envolvente ou área disponível restrita, por exemplo;
- Caso a melhor orientação disponível seja sudeste ou sudoeste, existe uma perda máxima de energia de 5%, o que praticamente não afeta a produção;
- Se a orientação for para este ou oeste as perdas serão de até 20%, não se devendo descartar a instalação pois, mesmo assim, o sistema ainda é altamente lucrativo.

Alguns painéis são instalados para este e outros para oeste permitindo a captação de energia ao longo de todo o dia: de manhã pelos painéis orientados a este e de tarde pelos orientados a oeste;

- Quando um edifício está voltado para o norte, nordeste ou noroeste deve-se avaliar a rentabilidade da instalação, pois dificilmente receberá luz solar.

Em relação ao sombreamento, os coletores devem ser instalados em locais afastados de árvores ou edificações que possam obstruir a passagem da radiação solar e em posições em que a sombra do próprio painel não comprometa o funcionamento de outro. A distância mínima entre fileiras pode ser calculada através das seguintes expressões, segundo a figura 2.14 [37]:

$$d1 = b \frac{\sin \alpha}{\tan \beta} \quad \text{Equação 2.4}$$

$$d = d1 + b \cos(\alpha) \quad \text{Equação 2.5}$$

$$\beta = 90^\circ - |L - \delta_s| \quad \text{Equação 2.6}$$

onde:

d - passo entre fileiras;

$d1$ - distância entre as fileiras;

b - comprimento dos coletores solares;

α - ângulo de inclinação dos coletores solares;

β - ângulo de altitude solar às 12 horas solares do solstício de inverno;

L - latitude do local;

δ_s - ângulo de declinação solar (23,5°).

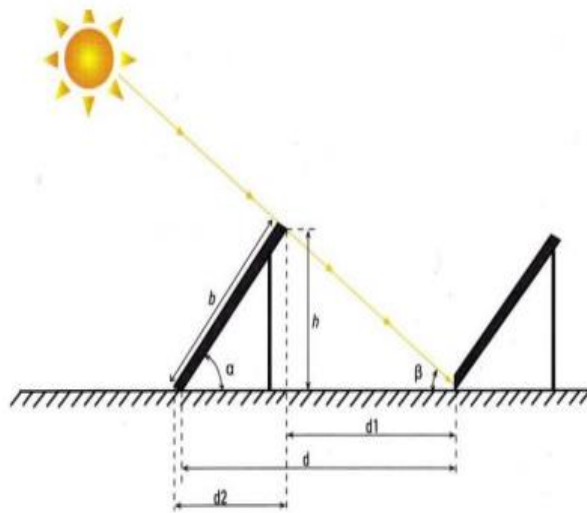


Figura 2-14: Distância de sombreamento entre fileiras de painéis solares (Adaptado de [37])

O ângulo de inclinação ótimo depende da latitude do local. São ainda recomendadas inclinações diferentes dependendo da altura do ano em que o sistema é utilizado. Na tabela 2.3 encontram-se as inclinações recomendadas em função da latitude do local para utilizações em diferentes períodos do ano. Na região do Porto a latitude é de aproximadamente 41°, então a inclinação do coletor solar deverá ser entre 51° e 56°, considerando por exemplo o inverno [38] [37].

Tabela 2-3: Inclinação dos painéis

Período de utilização	Ângulo de inclinação recomendado
Inverno	Latitude do local + 15°
Verão	Latitude do local - 15°
Todo o ano	Latitude do local - 5°

2.5.2. Radiação solar

O dimensionamento implica conhecer dados sobre a radiação solar incidente no local. De forma a ter em conta todas as variáveis, é possível estimar diretamente a produção energética do painel através de simuladores que relacionam a disponibilidade solar e as condições climatéricas do local com o seu desempenho, tornando o dimensionamento mais fácil e preciso. Um dos simuladores acessíveis a qualquer entidade é o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), uma ferramenta disponibilizada pela DGEG, bem como a ferramenta de simulação exclusiva *Abora Solar*. Estes simuladores estimam a energia produzida por sistemas solares térmicos ou fotovoltaicos numa dada localização em cada mês do ano com base nas características técnicas do equipamento apresentado.

2.5.3. Perfil de consumos energéticos

Um dos maiores desafios no dimensionamento de sistemas solares para autoconsumo é aproximar a produção e o perfil de consumo. Para determinar a potência a instalar, é necessário avaliar o perfil de consumo da instalação. O seu valor será a soma das necessidades de potência média elétrica e de potência média térmica para AQS, que irá refletir no número de painéis híbridos a instalar.

- **Vertente elétrica**

Começando pela vertente elétrica, o cálculo da potência média em cada mês é feito com base nas faturas de eletricidade apenas nos períodos de ponta e cheia, na medida em que as horas de sol não coincidem com períodos de vazio. O seu cálculo pode ser definido pela equação 2.7, uma média ponderada da potência média requerida nestas horas em cada mês.

$$P_{média} = \frac{HP}{(HP + HC)} \times P_{ponta} + \frac{HC}{(HP + HC)} \times P_{cheia} \quad \text{Equação 2.7}$$

em que:

HP - horas diárias em período de ponta no respetivo mês;

HC - horas diárias em período de cheia no respetivo mês;

Pponta - potência média consumida em período de ponta no respetivo mês;

Pcheia - potência média consumida em período de cheia no respetivo mês.

Nota: através de analisadores de eletricidade utiliza-se a potência média consumida real e não a estimada pela equação.

Em seguida determina-se com a equação 2.8 o número de painéis a instalar pela vertente elétrica, definido por NE.

$$NE = \frac{P_{média}}{P_{máx}} \quad \text{Equação 2.8}$$

- **Vertente térmica**

O cálculo do número de painéis necessários pela vertente térmica exige a determinação das necessidades térmicas para AQS. A água aquecida deve ser acumulada num depósito isolado, não sendo necessário a produção e gasto simultâneo como a eletricidade, dando cobertura aos períodos em que não há radiação solar.

Para avaliar as necessidades de AQS seguem-se as orientações do Despacho (extra) n.º 15793- I/2013 [39] [40]. Num edifício de habitação, o consumo médio diário de referência, em litros, será calculado de acordo com a equação 2.9:

$$M_{AQS} = 40 \times n \times f_{eh} \quad (\text{litros}) \quad \text{Equação 2.9}$$

em que:

n - número de ocupantes de cada fração autónoma, em função da tipologia da fração (2 ocupantes no caso da tipologia T0, e n+1 ocupantes nas tipologias do tipo Tn com n>0);

f_{eh} - fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação reconhecido pela ANQIP (Associação Nacional para Qualidade nas Instalações Prediais). Para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, $f_{eh} = 0,90$, sendo que nos restantes casos, $f_{eh} = 1$.

Outra forma de estimar o consumo é utilizando valores médios de referência que variam em função do edifício. A temperatura máxima de uso nas instalações de tipo habitacional é de 60°C. Segundo a norma 94002:2005, o consumo diário de água quente a 60°C é mostrado na tabela 2.4 [39].

Tabela 2-4: Necessidade de AQS (Adaptado de [39])

Tipo de edifício	Consumo diário de referência a 60°C (L/pessoa)
Moradia unifamiliar	30 a 40
Edifício multifamiliar	22
Hospital ou clínica	55
Hotel (* a *****)	40 a 70
Residencial/Pensão	35
Campismo	40
Lar de idosos ou estudantes	55
Escola (refeições)	3
Quartel	20
Fábrica ou oficina	15
Ginásio	20 a 25
Lavandarias	3 a 5 (L/kg de roupa)

Posto isto, as necessidades médias anuais são calculadas, em kWh/ano, pela equação 2.10 [39].

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3600000} \quad (\text{kWh/ano}) \quad \text{Equação 2.10}$$

em que:

ΔT - aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS;

n_d - número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais que, para efeitos do presente cálculo, se considera de 365 dias.

A partir da estimativa do consumo energético referente ao aquecimento de AQS, recorrendo a um simulador adequado, é devolvido o número de coletores a instalar pela vertente térmica, NT.

Finalmente, para a determinação do número de painéis híbridos necessários para suprir as necessidades elétricas e de AQS recorre-se ao NT como fator limitante. Ou seja, se o número de painéis dimensionado pela vertente elétrica for maior que o dimensionado pela térmica, o número escolhido deverá ser o da vertente térmica, suprimindo as restantes necessidades de eletricidade com painéis PV, NE'. Ao contrário, deverá ser escolhido o número resultante do dimensionamento elétrico, suprimindo as restantes necessidades de AQS com coletores solares, NT', no entanto esta situação é muito menos comum. A determinação do número de painéis híbridos está esquematizada na árvore de decisão representada na figura 2.15.

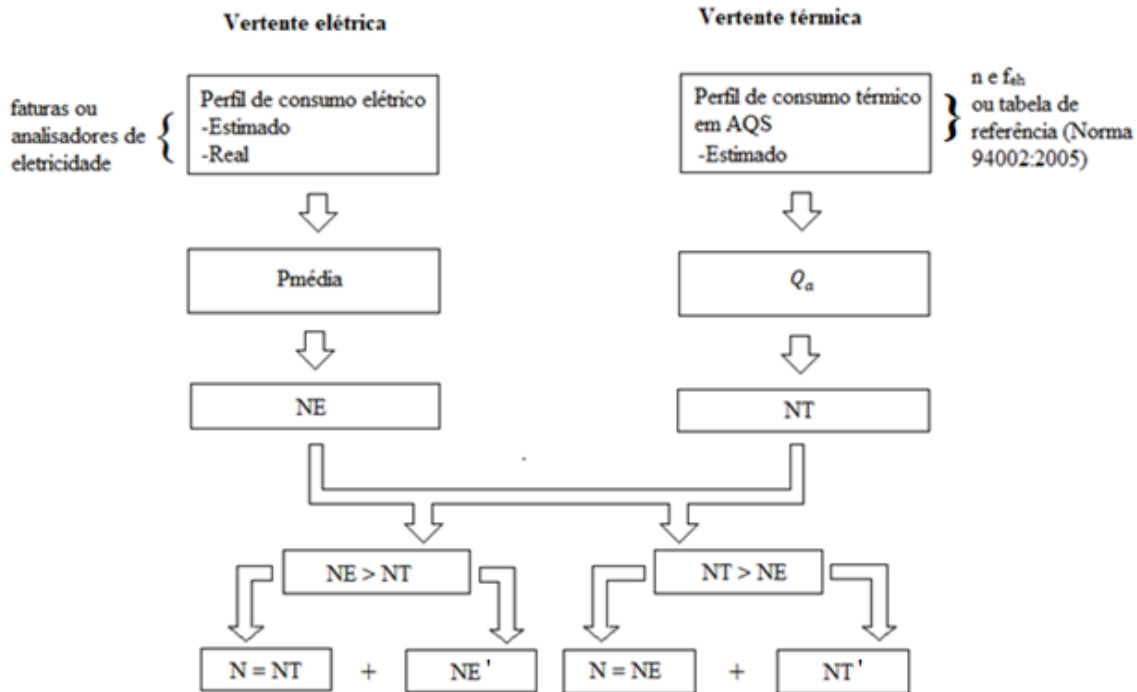


Figura 2-15: Árvore de decisão do número de painéis híbridos a instalar (N)

2.5.4. Dimensionamento dos principais componentes do sistema

O facto da maioria das cargas elétricas necessitarem de corrente alternada para funcionarem corretamente, bem como a ligação dos sistemas PV à rede de distribuição elétrica, obriga à presença de um inversor. A escolha do inversor depende inteiramente da quantidade de corrente a ser convertida, e consequentemente, do número de painéis da instalação. Quanto mais módulos estiverem conectados ao inversor, maior terá que ser a sua potência. Assim, os inversores são fabricados para diferentes níveis de potência podendo ser de dois tipos, monofásico ou trifásico.

Estipulou-se que a sua potência, $P_{max,INV}$, deve estar dentro do seguinte intervalo de potência nominal [41]:

$$0,7 \times P_{max} < P_{max,INV} (DC) < 1,2 \times P_{max}$$

$$P_{max,INV} (DC) = \frac{P_{max,INV} (AC)}{\eta_{INV}} \quad \text{Equação 2.11}$$

$P_{max,INV} (AC)$ - Potência AC máxima do inversor em W

η_{INV} – Eficiência do inversor em %

Para a escolha do inversor deve-se ainda ter em conta a tensão de entrada no mesmo e o número de MPPT's necessário, que depende da forma como o sistema solar está organizado estruturalmente. Os MPPT's são um sistema cuja função é rastrear o ponto de maior potência num conjunto de painéis, para se obter um melhor aproveitamento. Sendo assim, se o sistema tiver variações de exposição, como inclinações ou quantidades diferentes por fileira, é preciso usar inversores com múltiplos MPPT's.

Quanto aos depósitos, porque o consumo de água quente nem sempre coincide com os períodos de maior incidência solar, há necessidade de se acumular para consumo posterior. O depósito depende da quantidade de água que o sistema solar vai produzir e que o cliente pretende acumular. Este terá de ter capacidade mínima suficiente para conter a AQS que vai ser produzida pelos painéis solares térmicos durante um dia sem consumo. Geralmente, a troca de calor entre o fluido térmico e a água no depósito é efetuada através de serpentinas, como já foi referido. É importante optar por um depósito cuja serpentina incorporada seja adequada para efetuar a troca de calor de forma eficaz. Para instalações maiores opta-se muitas vezes por substituir a serpentina por um permutador de calor de placas antes do depósito.

2.5.5. Outros parâmetros

O vento é também um parâmetro a ter em conta. De acordo com o *eurocode1*, nas áreas limite dos telhados é propício a formação de zonas de turbulência que amplificam o efeito do vento. Para minimizar o efeito do vento recomenda-se a instalação dos painéis na zona verde da figura 2.16, representativa de um telhado. Caso seja imperativo realizar a instalação fora da zona verde, recomenda-se reforçar a estrutura dos painéis para garantir que suporta os esforços a que está sujeito e a sua vida útil [42].

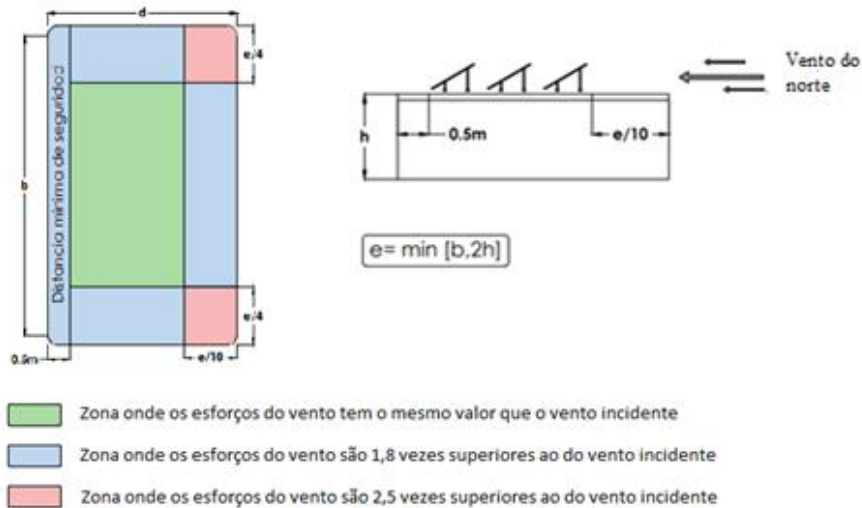


Figura 2-16: Esquema de telhado dividido em diferentes zonas de esforços do vento [43]

Ainda assim, o sistema deve ser reforçado através de materiais pesados de betão para lhe conferir estabilidade, por exemplo os lancis.

O número de lancis necessários para cada instalação pode ser consultado nas tabelas 2.5 e 2.6 e considera a área de vento, que pode ser 27 ou 30 m/s de acordo com o mapa de vento de Portugal, figura 2.17.a, se se trata da zona G1 ou G2 do painel, figura 2.17.b, e a altura do edifício. [44]

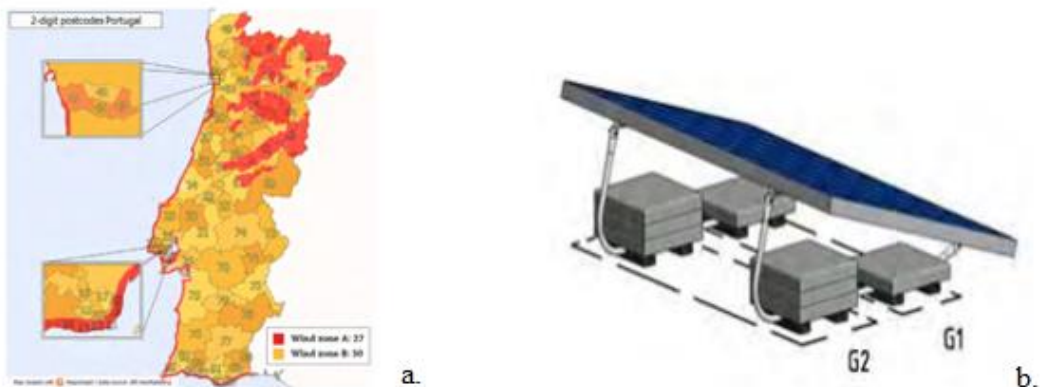


Figura 2-17: Mapa de vento de Portugal (a.) e painel com lancis (b.).

Tabela 2-5: Peso e número de lancis para painel com dimensões máximas de 1800x1100 mm (21 kg)

Altura edifício	0 – 5 m		5 – 7 m		7 – 9 m		9 – 12 m		12 – 15 m		
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	
27 m/s	36	68	36	68	36	68	36	68	36	68	kg
	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	lancis
30 m/s	36	89	36	89	36	89	36	89	36	89	kg
	4	10	4	10	4	10	4	10	4	10	lancis

Tabela 2-6: Peso e número de lancis para painel com dimensões máximas de 2100x1100 mm (24 kg)

Altura edifício	0 – 5 m		5 – 7 m		7 – 9 m		9 – 12 m		12 – 15 m		
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	
27 m/s	36	82	36	82	36	82	36	82	36	82	kg
	4	9,5	4	9,5	4	9,5	4	9,5	4	9,5	lancis
30 m/s	36	106	36	106	36	106	36	106	36	106	kg
	4	12	4	12	4	12	4	12	4	12	lancis

2.6. Ferramenta de simulação de sistemas solares híbridos – *Abora Hybrid Solar*

Neste subcapítulo será detalhado o funcionamento da ferramenta de simulação *Abora Hybrid Solar* e também destacados os principais cálculos internos da mesma.

Esta ferramenta é desenvolvida pela empresa *Abora Solar*, fabricante do painel solar híbrido, para avaliar o desempenho energético dos sistemas solares PVT, como o painel *Abora AH72 SK*.

- **Localização e necessidades energéticas**

A ferramenta de simulação da *Abora* utiliza uma base de dados como o *Meteonorm* para determinar parâmetros como radiação solar, temperatura ambiente, altitude, latitude e a temperatura de abastecimento de água mediante localizações específicas, conforme mostrado na figura 2.18.

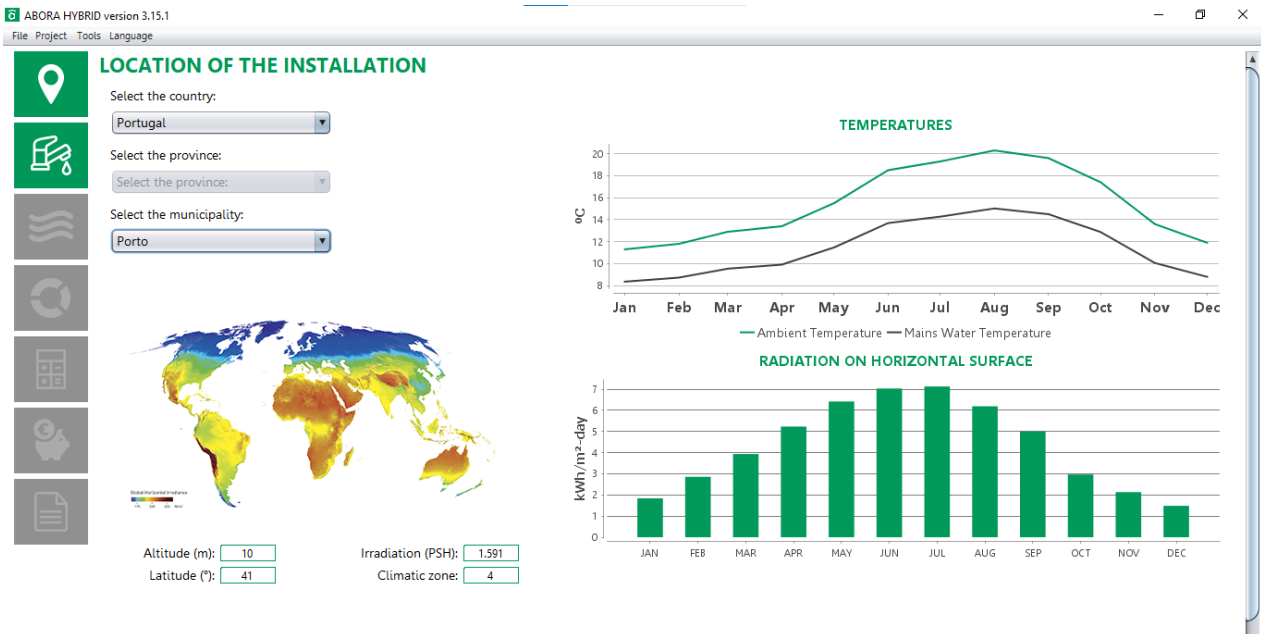


Figura 2-18: Localização e informação meteorológica na ferramenta de simulação *Abora Hybrid Solar*

Em seguida devem ser selecionadas as necessidades térmicas e elétricas com diferentes categorias de aplicação (casa unifamiliar e multifamiliar, edifícios terciários como hospitais, hotéis, etc.) e parâmetros específicos como o tipo de demanda desejado (eletricidade, AQS, aquecimento e/ou piscina) bem como os sistemas auxiliares existentes, a percentagem de ocupação do edifício ao longo do ano, e outros parâmetros. Na figura 2.19 encontram-se os *in puts* referidos.

INSTALLATION PARAMETERS

THERMAL PARAMETERS		ELECTRIC PARAMETERS
Type of installation: <input type="radio"/> Single family house <input type="radio"/> Multidwelling house <input checked="" type="radio"/> Tertiary sector	Type of demand: <input checked="" type="radio"/> DHW <input type="radio"/> DHW+heating <input type="radio"/> DHW+pool <input type="radio"/> DHW+heating+pool Monthly demand known? <input type="checkbox"/>	Type of connection: <input checked="" type="radio"/> Self-consumption Electrical utilization factor: 100 % Do you know the electricity demand of the building? <input type="checkbox"/>
Type of auxiliar systems's fuel: Biomass		
Combustible: Biomass CO2 emissions coef. fuel (kg CO2 / kWh) 0,018 CO2 emissions coef. electricity (kgCO2 / kWh) 0,396 Nominal performance 0,850 Seasonal performance 0,750 fuel price (€/kWh) 0,045 Electricity price (€/kWh) 0,120		

THERMAL DEMAND

TERTIARY SECTOR DHW DEMAND	THERMAL SCHEME	ELECTRICAL SCHEME
Select the type of building: Hospitals and clinics Select the number of people: 0 Other consumptions temperature (°C) 60 Demand at 60°C (liters/daypers) 55 Other demands (liters/day) 0		

Figura 2-19: Inputs requeridos pelo software Abora Solar.

Tendo em conta os parâmetros inseridos, a ferramenta irá avaliar a necessidade de energia mensal e anual total para o edifício em questão. A carga mensal de energia necessária (C) para aumentar a temperatura da água de abastecimento para a temperatura de água quente desejada é calculada através da equação 2.12 [45]. No entanto, se conhecidos os consumos de energia em AQS reais não é necessário recorrer ao cálculo.

$$C = m \times n^{\text{o dias}} \times cp \times (Td - Ts) \quad (\text{kWh}) \quad \text{Equação 2.12}$$

Onde:

m – caudal mássico de água quente necessária por pessoa por dia

cp – capacidade térmica específica da água

Td – temperatura da água desejada

Ts – temperatura da água de alimentação

Automaticamente o algoritmo considera que para uma habitação unifamiliar a quantidade de AQS por pessoa e dia é 28 litros. Para edifícios terciários considera um consumo diferente, dependendo do edifício. Na figura 2.20 encontram-se as necessidades energéticas, térmicas e elétricas, simuladas automaticamente pelo software para os parâmetros inseridos na figura 2.19.

THERMAL DEMAND

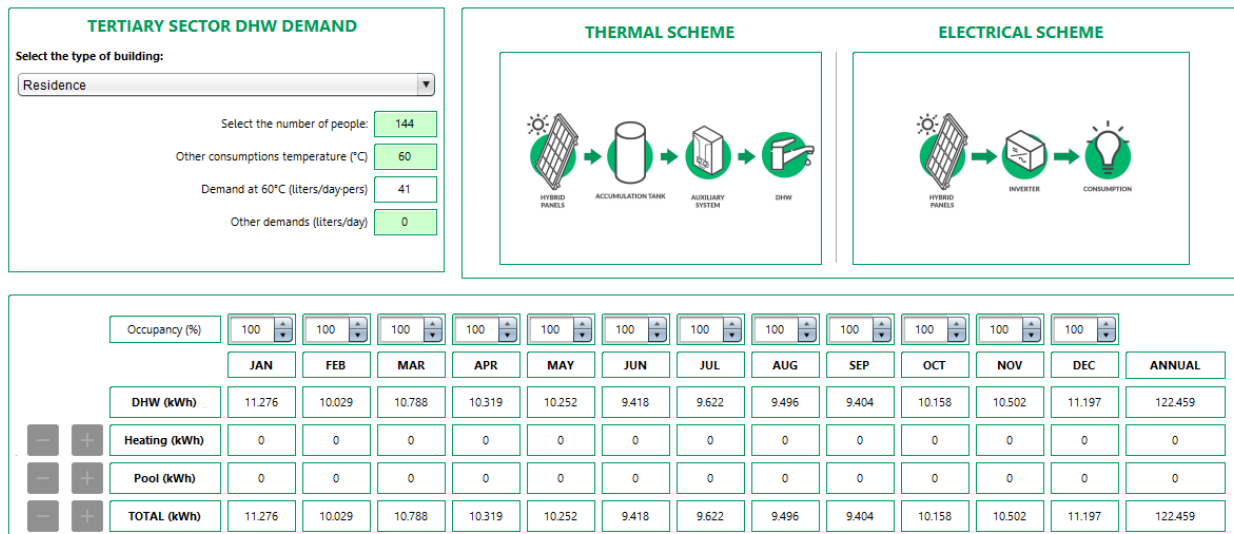


Figura 2-20: Necessidades energéticas simuladas pelo software Abora Solar.

- **Modelação e configuração do sistema**

Esta ferramenta de simulação é projetada para calcular o número de PVT recomendados para cobrir as necessidades exigidas. Para isso tem em conta as características técnicas dos diferentes modelos desenvolvidos pela *Abora Solar*, a orientação e o ângulo de cada painel.

A capacidade do depósito pode ser personalizada de acordo com a razão volume do depósito/área de abertura do painel, que deve apresentar valores entre 50 e 180 L/m².

Ainda, é possível incluir perdas por sombreamento manualmente e o efeito de albedo padrão é 20%, considerado automaticamente.

Por fim, como já foi referido, para as aplicações onde as necessidades elétricas são significativamente superiores às térmicas (situação mais comum), os PVT podem ser dimensionados com base nas necessidades térmicas totais e as elétricas extra podem ser supridas com a opção de PV adicionais.

INSTALLATION DESIGN

PANEL PARAMETERS

Select the model: aH725K

Name: aH725K Type: Hybrid

Optical performance: 0,70 Total area (m²): 1,96

a1 (W/m²·K): 5,98 Aperture area (m²): 1,88

a2 (W/m²·K): 0,00 Power (Wp): 350

Number of panels: 65

Estimated number of panels: 65

Orientation and inclination of the panels:

Optimum tilt: Annual Winter Summer

Inclination (°): 30 Orientation (°): 0

Panel bench with different inclination and/or orientation:

Yes/No

Number of panels: 0 Inclination (°): 30

Orientation (°): 0

INSTALLATION PARAMETERS

Total panels: 65

Accumulation volume (liters): 6500

Edit volume

Total area (m²): 127,40

Aperture area (m²): 122,20

V/A Ratio: 53,19 Must be between: 50 < V/A < 180
V: Accumulation volume (L)
A: Aperture area (m²)

Energy losses due to distribution (%): 4

Define the Albedo: Normal situation : 20%

Define the shadow losses perfect (%): 0

Do you wish to include additional PV panels?

Include PV panels

Indicate the power (W): 0 (Of each panel)

Indicate the total area (m²): 1,65 (Of each panel)

Indicate the number of PV panels: 0

Indicate the orientation and inclination of the PV panels:

Inclination PV (°): 30 Orientation PV (°): 0

Figura 2-21: Modelação e configuração do sistema ferramenta de simulação *Abora Hybrid Solar*

• **Resultados da simulação**

Esta ferramenta otimiza as características da instalação com base nas necessidades e condições do local. Depois, simula o sistema e gera os resultados destacando mensal e anualmente a radiação que atinge a superfície dos painéis, as necessidades e cobertura solar térmica e as necessidades e produção elétrica, tal como se pode observar na figura 2.22.

RESULTS

City: <input type="text" value="Coimbra, Portugal"/>	Panel model: <input type="text" value="aH725K"/>	Number of additional PV panels: <input type="text" value="0"/>	Installation Power (kWp): <input type="text" value="23"/>
Climatic zone: <input type="text" value="4"/>	Number of panels: <input type="text" value="65"/>	PV Panels inclination (°): <input type="text" value="30"/>	Accumulation volume (L): <input type="text" value="6.500"/>
Type of building: <input type="text" value="Tertiary sector"/>	Panels inclination (°): <input type="text" value="30"/>	PV Panels orientation (°): <input type="text" value="0"/>	Aperture area installation (m²): <input type="text" value="122,20"/>
Type of fuel: <input type="text" value="Biomass"/>	Panels orientation (°): <input type="text" value="0"/>	Electrical demand Supplied (%): <input type="text" value="∞"/>	V/A Ratio: <input type="text" value="53,19"/>



RESULTS SUMMARY

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--------

SOLAR IRRADIATION

Horizontal Surf. Rad. (kWh/m²)	68	82	124	158	195	207	231	198	155	103	73	57	1.651 kWh
Panels Rad. (kWh/m²)	106	111	147	166	190	194	219	203	179	132	111	91	1.849 kWh

ENERGY PRODUCTION

Thermal demand (kWh)	15.126	13.453	14.472	13.842	13.752	12.634	12.907	12.739	12.615	13.627	14.088	15.020	164.275 kWh
Raw energy (kWh)	6.607	6.825	8.824	9.752	10.798	10.703	11.785	11.078	10.056	7.932	6.821	5.652	106.831 kWh
Distribution losses (kWh)	264	273	353	390	432	428	471	443	402	317	273	226	4.273 kWh
Thermal energy used (kWh)	6.342	6.552	8.471	9.361	10.366	10.275	11.314	10.635	9.653	7.614	6.548	5.425	102.558 kWh
Solar thermal coberture (%)	42%	49%	59%	68%	75%	81%	88%	83%	77%	56%	46%	36%	62%
Electrical demand (kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 kWh
Hybrid electricity production (kWh)	1.533	1.604	2.193	2.504	3.206	3.206	3.752	3.331	2.814	1.997	1.469	1.475	29.085 kWh
PV electricity production (kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 kWh
Total electricity production (kWh)	1.533	1.604	2.193	2.504	3.206	3.206	3.752	3.331	2.814	1.997	1.469	1.475	29.085 kWh

Figura 2-22: Sumário dos resultados da energia produzida desta instalação.

Posto isto, calcula ainda a economia térmica, elétrica e total e as emissões de CO₂ evitadas com o sistema dimensionado, figura 2.23.

SAVINGS

Thermal savings (€)	381	393	508	562	622	617	679	638	579	457	393	326	6.153 €
Electrical savings (€)	184	192	263	300	385	385	450	400	338	240	176	177	3.490 €
Total savings (€)	565	586	771	862	1.007	1.001	1.129	1.038	917	696	569	503	9.644 €

EMISSIONS AVOIDED

Thermal CO ₂ emissions (kg)	152	157	203	225	249	247	272	255	232	183	157	130	2.461 kg
Electric CO ₂ emissions (kg)	607	635	868	991	1.270	1.270	1.486	1.319	1.114	791	582	584	11.518 kg
Total CO ₂ emissions (kg)	759	792	1.072	1.216	1.518	1.516	1.757	1.574	1.346	973	739	714	13.979 kg

Figura 2-23: Sumário dos resultados da poupança e emissões evitadas desta instalação.

- **Investimento e otimização do sistema**

Após o resumo dos resultados técnicos, será definido o custo detalhado do sistema PVT personalizando o custo de manutenção, o tipo de inversor, estrutura de montagem, taxa marginal de material, taxa de aumento de preços elétricos e combustíveis, etc.

O programa de simulação considera os *inputs* e gera um relatório de avaliação com base em indicadores económicos que demonstra o *cash flow* com as respetivas poupanças anuais, amortizações mensais, período de retorno do investimento, taxa interna de retorno (TIR), entre outros, tal como se pode observar na figura 2.24.

No entanto, esta ferramenta é flexível na personalização do financiamento nos vários cenários em tempo real, como no número de pagamentos por ano, o número total de pagamentos em todo o período de financiamento, etc.

INSTALLATION AMORTIZATION

Considerations	
Investment cost (€)	91.168
Maintenance cost (€)	0
Useful lifetime (years)	25
Annual degradation of PV module (%)	0,25
Electricity price (TAX not incl.) (€/kWh)*	0,120
Fuel price (TAX not incl.) (€/kWh)*	0,045
Electricity price increment (%)	6,0
Fuel price increment (%)	5,0

(*)Source: eurostat

Levelized Cost Of	
LCOE (Electricity) (€/kWh)	0,046
LCOH (Heat) (€/kWh)	0,030
LCOT (Total) (€/kWh)	0,034

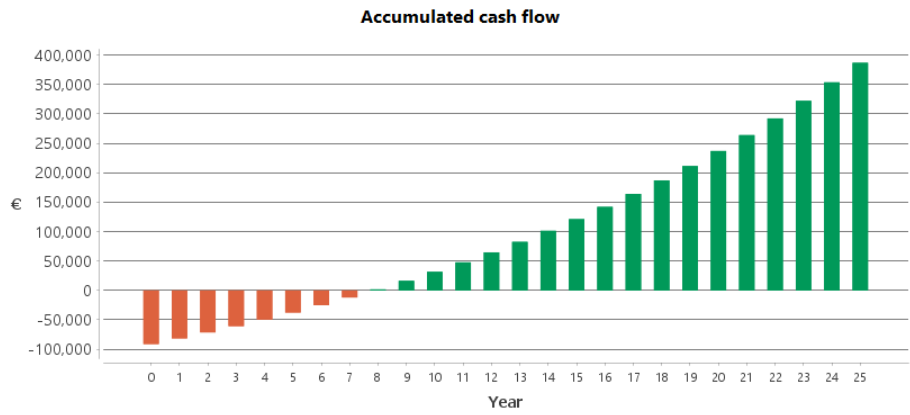


Table of Amortization															
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	
Investment cost (€)	91.168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Maintenance cost (€)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Savings (€)	0	9.644	10.151	10.686	11.249	11.842	12.466	13.123	13.815	14.544	15.311	19.803	25.619	33.153	
Accumulated cash flow (€)	-91.168	-81.524	-71.373	-60.687	-49.438	-37.596	-25.130	-12.006	1.809	16.353	31.664	121.231	237.092	387.009	

Figura 2-24: Resumo da avaliação económica desta instalação.

Capítulo 3. Caso de estudo: Unidade de Alojamento de Hotelaria dos Serviços de Ação Social do Instituto Politécnico de Coimbra

O projeto de dimensionamento será efetuado para uma Unidade de Alojamento e Hotelaria dos Serviços de Ação Social do Instituto Politécnico de Coimbra (SASIPC), uma residência universitária para estudantes do Politécnico de Coimbra. A unidade pretende a instalação de um sistema de painéis solares híbridos para atender às suas necessidades de eletricidade e AQS, quando necessário complementado com uma fonte alternativa de energia.

3.2. Caracterização das instalações

Esta unidade dispõe de dois complexos de residências:

- Residências em Bencanta, figura 3.1.a., situada em S. Martinho do Bispo, Coimbra, constituída por 2 edifícios, os blocos R1 e R2, com capacidade para alojar 204 estudantes. Existe um contador de eletricidade e GN comum aos 2 edifícios.
- Residências na Quinta da Nora (QN), figura 3.1.b., situada em Olivais, Coimbra, constituída por 4 edifícios, blocos R3, com capacidade para alojar 144 estudantes. Existe um contador de eletricidade e GN em cada edifício.

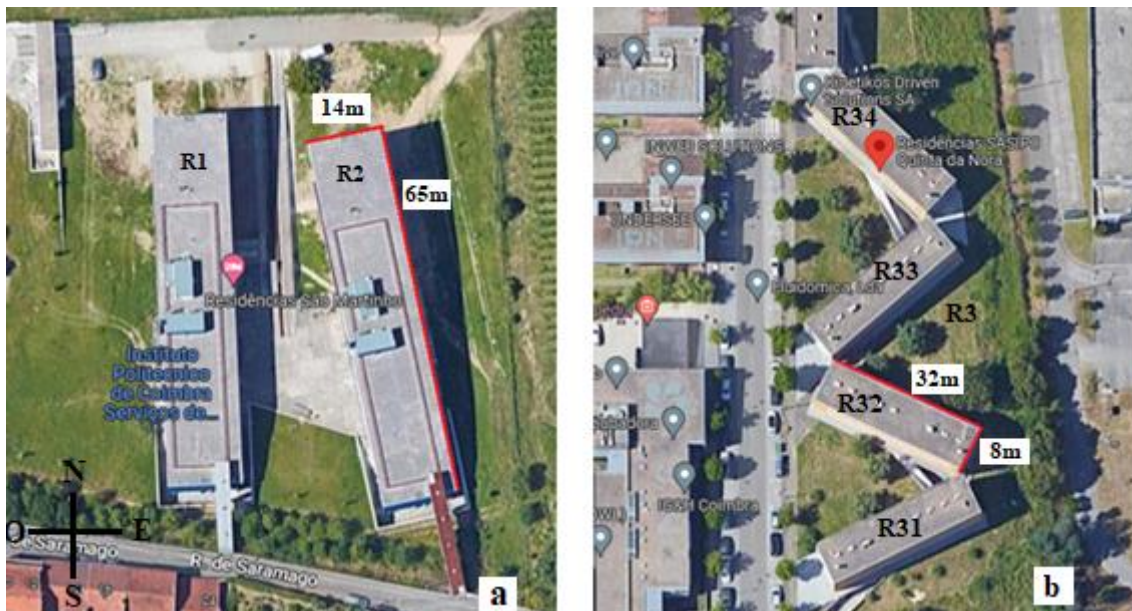


Figura 3-1: Edifícios da residência de Bencanta (a) e da Quinta da Nora (b)

A intenção do cliente é instalar os painéis nas coberturas por motivos estéticos, de utilização do espaço e de rentabilidade. Sabe-se que os edifícios de cada complexo são estruturalmente idênticos e os seus telhados são planos, não apresentando águas.

Como é possível perceber pela imagem, os edifícios da residência de Bencanta estão orientados para sul. Quanto aos edifícios da Quinta da Nora, dois estão orientados a sudoeste e outros dois a noroeste, tendo como referência a entrada dos edifícios. A latitude na zona de Coimbra é 40°.

Para determinar a área disponível para a instalação é importante avaliar as obstruções nas coberturas que possam causar sombreamento sobre os painéis, bem como a distância de segurança aos limites dos telhados. Quanto à residência de Bencanta é possível confirmar a existência de duas caixas de elevador e uma chaminé, em cada edifício. Por sua vez, em Quinta da Nora identificam-se 8 unidades de tratamento de ar (UTAs), uma chaminé, e uma abertura quadrada por onde se tem acesso ao telhado, em cada edifício. As obstruções estão devidamente identificadas na figura A.1 e A.2 do Anexo A.1.

Assim, tendo em conta os cálculos desenvolvidos no Anexo A.1, a área total disponível para a instalação é aproximadamente 646 m² (323 m² por edifício), no caso da residência de Bencanta, e 320 m² (80 m² por edifício), no caso da residência de Quinta da Nora. Na figura 3.2 e 3.3 (que não estão à escala) encontra-se destacado a verde a área disponível para a instalação.



Figura 3-2: Área disponível para a instalação na residência Bencanta



Figura 3-3: Área disponível para a instalação na residência Quinta da Nora

Ainda, como residência de estudantes, os edifícios não encerram, sendo necessário assegurar eletricidade e AQS 24 horas por dia.

Recorrendo ao *software Abora Hybrid Solar* é possível traçar o gráfico que traduz a radiação incidente e a temperatura média ambiente e da água em Coimbra ao longo do ano, figura 3.4.

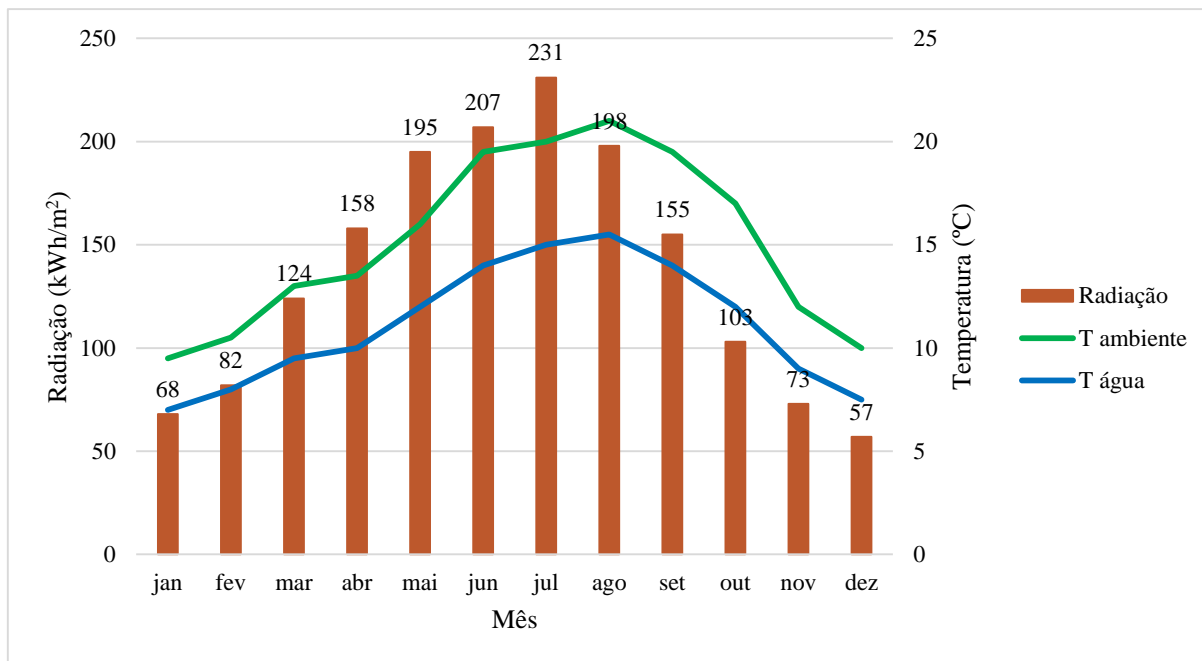


Figura 3-4: Radiação média mensal e temperatura média ambiente e da água em Coimbra ao longo de 2023.

3.3. Análise dos consumos energéticos

Como já referido, para dimensionar corretamente o sistema é necessário avaliar o perfil de consumo das residências. Para tal, recorreu-se às faturas de gás natural e eletricidade disponibilizadas pelos clientes, entre o mês de janeiro e dezembro de 2019.

Como existe um contador por cada edifício na Quinta da Nora optou-se por analisar as faturas de apenas um edifício, multiplicando os consumos por 4, dado que a diferença dos consumos entre os edifícios R3 não foi considerada significativa. Assim, realizou-se uma única análise para todo o edifício.

Para facilitar a compreensão da análise e posteriormente do dimensionamento, dividiu-se o ano em 2 períodos: os meses de verão (Abril a Setembro) e os meses de inverno (restantes meses de ano), segundo a estrutura trimestral referida no capítulo 2.3.

Ainda, para uma análise precisa dos consumos é importante ter em conta a afluência de estudantes nas residências ao longo do ano. Para isso, foi estimada uma taxa de ocupação todos os meses, baseada na existência ou não de férias letivas, época do ano (relacionada com a necessidade de climatização) e nos próprios consumos. Considerou-se que a taxa de ocupação foi igual nas duas residências.

3.1.1 Gás Natural

As faturas de gás natural disponibilizadas pelos clientes dizem respeito ao consumo global deste combustível (tabela B.1 e B.2 do anexo B.1), podendo ter sido utilizado não só para AQS mas em climatização, cozinhas ou para outros efeitos, no caso das residências de estudantes. Como o foco dos PVT se situa, neste caso, exclusivamente no aquecimento de águas sanitárias, é necessário estimar quantitativamente que parte dos consumos registados nas faturas foi utilizado para AQS. Para isso pode recorrer-se à tabela 2.4 e às equações 2.9 e 2.10 do subcapítulo 2.5.3, onde se explorou como se pode estimar teoricamente consumos em AQS. O exemplo de cálculo encontra-se no Anexo B.1.

Nas figuras 3.5 e 3.6 é possível consultar a taxa de ocupação estimada nas residências e o consumo de gás natural estimado para AQS da residência Bencanta e Quinta da Nora, respetivamente, ao longo de 2019.

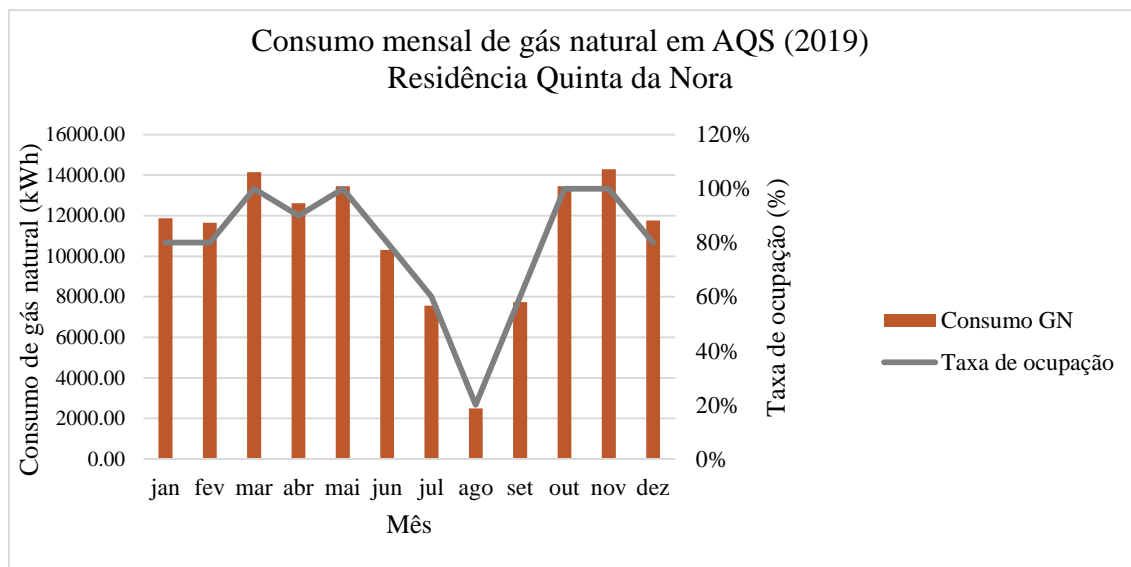


Figura 3-5: Consumo de gás natural estimado para AQS e taxa de ocupação na residência Quinta da Nora

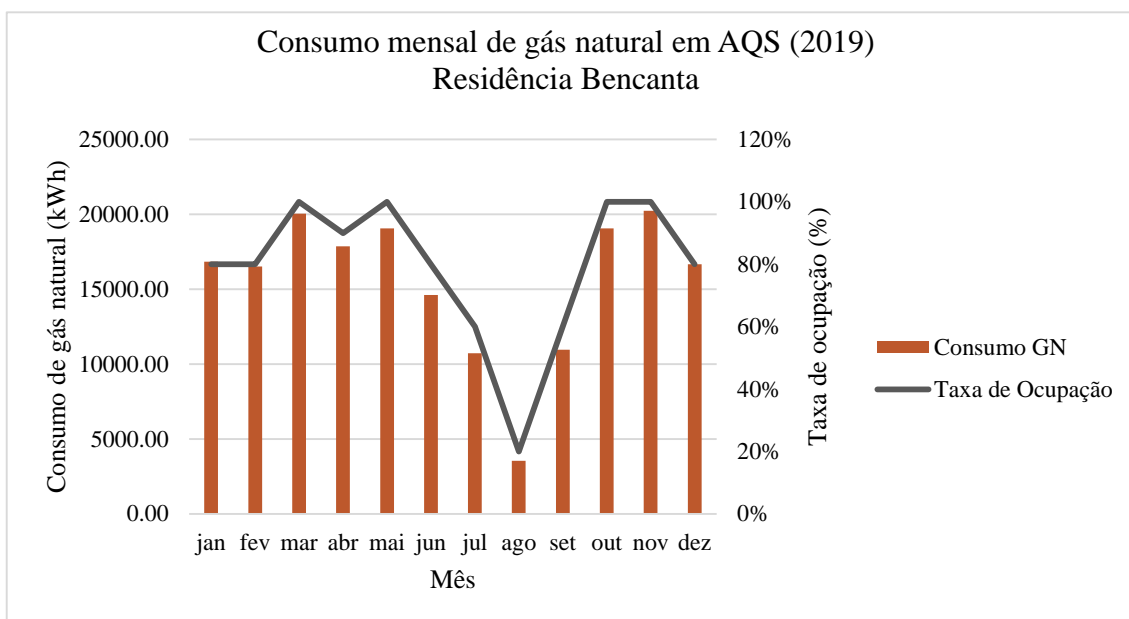


Figura 3-6: Consumo de gás natural estimado para AQS e taxa de ocupação na residência Bencanta

Pelo comportamento dos gráficos conclui-se que a evolução dos consumos está de acordo com a taxa de ocupação, como seria esperado: nos meses de maior afluência de estudantes, verificam-se consumos mais altos. Os consumos estimados são superiores na residência de Bencanta, o que também seria previsto uma vez que esta residência aloja mais alunos. A evolução dos consumos é idêntica em ambas as residências.

A percentagem média anual de gás natural utilizada para AQS situa-se por volta dos 30% (Tabela B.3), valor típico neste tipo de edifícios em Portugal, de acordo com a experiência da Filotipo. A percentagem de gás utilizado em AQS aumenta nos meses de verão, como se pode verificar na tabela B.3, devido à inexistência de consumos em climatização, que naturalmente representa uma grande percentagem da utilização total deste combustível.

Por fim, o consumo médio de gás natural em AQS em 2019 na residência Bencanta foi 15506 kWh, verificando-se o consumo máximo em Novembro, 20243 kWh, e o mínimo em Agosto, 3532 kWh. Na Quinta da Nora o consumo médio foi 10945 kWh, verificando-se o consumo máximo em Novembro, 14289 kWh, e o mínimo em Agosto, 2493 kWh.

3.1.2 Eletricidade

A entidade responsável pela comercialização da eletricidade é a EDP. As características do contrato estão descritas na seguinte tabela.

Tabela 3-1: Especificações do contrato de eletricidade

Tipo de Tarifa	Tetra-horária
Ciclo Horário	Diário
Potência Contratada (kW)	41,41
Nível de Tensão	BTE

A potência contratada de 41,41 kW corresponde a um contrato BTE. O preço cobrado por kWh de energia varia ao longo do dia e os períodos horários são iguais para todos os dias do ano, dado que o ciclo horário aplicado é diário. A tarifa é tetra-horária logo é importante conhecer a duração dos períodos que a constituem, para compreender a distribuição dos consumos ao longo de um dia.

Como já foi referido no capítulo 2.5.3, apenas os períodos de ponta e cheia devem ser avaliados na medida em que as horas de sol não coincidem com períodos de vazio e super vazio. Então, recorrendo à figura 2.12 do capítulo 2.3, é possível contabilizar que diariamente se consome energia em 4 horas de ponta e 10 horas de cheia, tanto no verão como no inverno apenas alterando a sua distribuição horária. Na tabela B.4 do Anexo B.2 estão representados os consumos em horas ponta e cheia nas residências.

A potência média mensal nas residências pode ser consultada na figura 3.7 e o seu cálculo no Anexo B.2. A potência média da instalação representa a potência que a instalação deve disponibilizar para cobrir as necessidades elétricas dos edifícios, em horas de ponta e cheia, sem que haja excedente. Assim a potência a instalar, preferencialmente, não deve ser superior a esta.

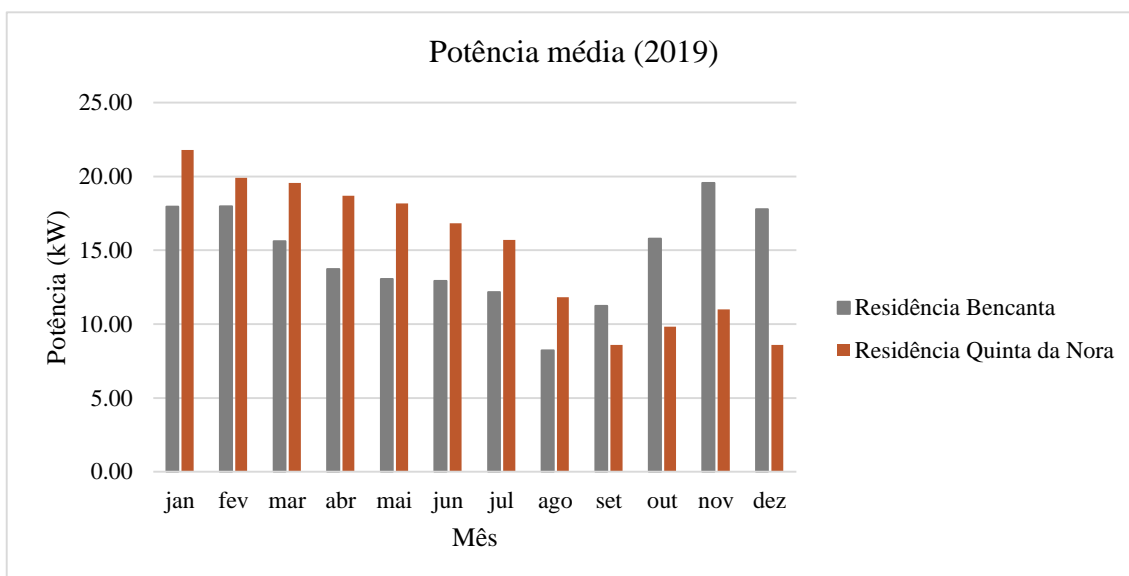


Figura 3-7: Potência média mensal

A potência média anual na residência Bencanta foi 14,67 kW, verificando-se o consumo máximo em Novembro, 19,55 kW, e o mínimo em Agosto, 8,21 kW. Na Quinta da Nora a potência média anual foi 15,04 kW, verificando-se o consumo máximo em Janeiro, 21,8 kW, e o mínimo em Setembro, 8,59 kW.

3.4. Dimensionamento da instalação

- **Número de painéis**

O objetivo do dimensionamento de uma instalação PVT passa por determinar o número de painéis necessários pela vertente térmica e pela vertente fotovoltaica, tal como abordado no capítulo 2.5.3.

Pressupõe-se que uma instalação típica deve ser sobredimensionada em 20%, de acordo com as boas práticas e os métodos de cálculo da Filotipo, para fazer face às perdas gerais, ineficiências e perda de rendimento anual do sistema.

Vertente térmica

Conhecendo a potência nominal para produção de energia térmica de cada painel híbrido (subcapítulo 2.2.3) bem como os consumos, determina-se o número de painéis híbridos necessários para cobrir as necessidades térmicas destes edifícios.

Se o dimensionamento for efetuado para períodos de maior consumo, como se verifica nos meses de inverno, a produção vai culminar num grande excedente de energia nos restantes meses do ano. Por outro lado, pode considerar-se que este excedente é de

certa forma atenuado devido ao facto do número de painéis ser calculado com base na potência nominal, porque um painel nunca produz na sua potência máxima em todos os instantes, sendo que este fator varia com a exposição solar, condições climatéricas, etc.

De modo a encontrar um “equilíbrio” entre o número de painéis necessários para uma produção ótima, de acordo com as necessidades em causa, geralmente o dimensionamento é efetuado para um período no verão, garantindo assim que nestes meses as necessidades são cobertas sem que haja excedente de energia. Por isso nos meses de inverno é, geralmente, necessária uma fonte de energia alternativa devido às necessidades totais não serem atingidas.

No caso concreto das residências, o dimensionamento pela vertente térmica terá como referência o período de meses de verão, entre Abril e Setembro. O mês de Agosto não foi tido em consideração, neste estudo, devido à baixa taxa de ocupação não refletir as necessidades de consumo dos restantes meses.

Assim, de acordo com os cálculos efetuados no Anexo C.1, são necessários 35 painéis híbridos na residência Quinta da Nora e 49 na Bencanta, tendo em conta apenas a vertente térmica.

Vertente elétrica

Conhecendo a potência nominal para produção de energia elétrica de cada painel híbrido (subcapítulo 2.2.3) bem como os consumos, facilmente se determina o número de painéis híbridos necessários para cobrir as necessidades elétricas destes edifícios.

Relativamente ao excedente de energia o mesmo referido acima se aplica, logo a potência média da instalação será calculada considerando o mesmo período entre Abril e Setembro, excluindo o mês de Agosto.

Ou seja, de acordo com o Anexo C.2, são necessários 44 híbridos na Bencanta e 54 na Quinta da Nora para suprir as necessidades elétricas.

Recorrendo à árvore de decisão (figura 2.15, capítulo 2.5.3), na Bencanta o número limitante de painéis é o calculado pela vertente elétrica ($NE (44) < NT (49)$), donde se conclui que são necessários 44 painéis híbridos (22 PVT por edifício) e 5 coletores térmicos para suprir as restantes necessidades térmicas. Na Quinta da Nora o número limitante de painéis é o calculado pela vertente térmica ($NT (35) < NE (54)$),

donde se conclui que são necessários 35 painéis híbridos (9 PVT por edifício) e 19 painéis solares fotovoltaicos. Na tabela 3.2 resume-se o resultado do dimensionamento.

Tabela 3-2: Resultado do dimensionamento

Bencanta			Quinta da Nora		
PVT	PT	PV	PVT	PT	PV
44	5	0	35	0	19

Ao contrário do que é usual, no caso da residência Bencanta, o número de painéis híbridos da instalação dimensionada é capaz de dar resposta às necessidades elétricas, mas não às térmicas. Assim sendo, torna-se necessário incluir coletores solares térmicos para suprir as necessidades térmicas totais. Na Quinta da Nora, os painéis híbridos dimensionados são apenas capazes de dar resposta às necessidades térmicas na totalidade, pelo que se torna necessário incluir painéis solares fotovoltaicos para suprir as necessidades elétricas totais.

Como esta dissertação se foca essencialmente numa instalação de painéis solares híbridos, o estudo não prosseguirá com forma como as restantes necessidades serão supridas, seja ela a partir de coletores solares e painéis fotovoltaicos, bomba de calor, caldeira, etc..

- **Orientação, inclinação dos painéis e área disponível**

Recorrendo à informação presente no capítulo 2.5.1 facilmente se conclui:

- No edifício R1 da residência Bencanta, os painéis devem ser orientados a Sul, uma vez que esta é a orientação ótima no hemisfério Norte, coincidente com a orientação do próprio edifício.

- Nos restantes edifícios, como as suas orientações são diferentes de Sul, dispor os painéis nesta orientação obriga a um menor aproveitamento da área disponível, tendo em conta a disposição do espaço e o espaçamento necessário entre duas fileiras de painéis consecutivas devido ao sombreamento, 2 metros, calculado no Anexo A. Assim, se os painéis forem instalados em fileiras paralelas ao comprimento dos telhados (orientação a sudeste ou sudoeste) este problema é eliminado, permitindo instalar os painéis de forma que o aproveitamento da área disponível seja máximo. Para além disso, esteticamente é aconselhável instalar os painéis na disposição do edifício.

Recorrendo à ferramenta AUTOCAD, elaborou-se a figura 3.8, imagem à escala, onde é possível observar a instalação a Sul na residência de Bencanta e a diferença entre painéis instalados a Sul ou de acordo com esta orientação, para a residência da Quinta da Nora.

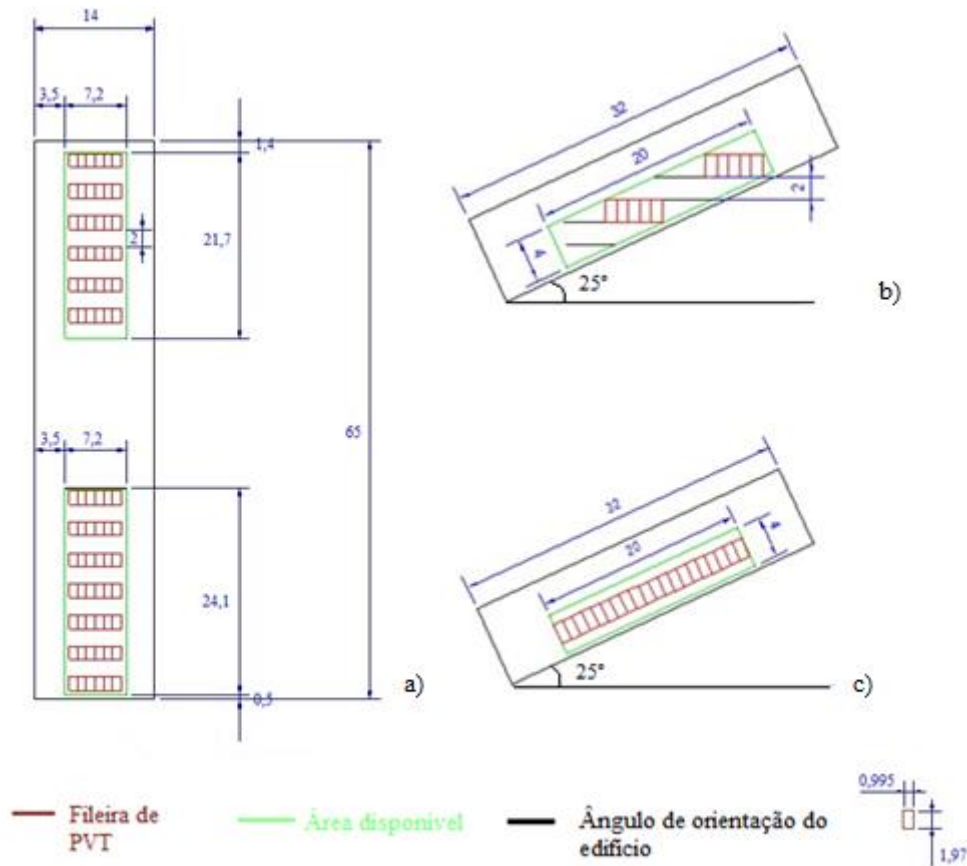


Figura 3-8: Orientação dos painéis: a) a Sul para o edifício R1 em Bencanta; b) a Sul para o edifício R31 da Quinta da Nora; c) a Sudeste para o edifício R31 da Quinta da Nora.

Em Bencanta é possível instalar na área disponível 78 painéis híbridos a Sul por edifício, espaço suficiente para os 22 painéis dimensionados.

Em Quinta da Nora, com os painéis orientados a Sul, figura 3.8.b), é possível instalar 10 painéis por edifício, pelo que caberiam os 9 híbridos necessários. Se forem orientados na disposição do edifício, figura 3.8.c), cabem 20. Como as perdas na produção não são significativas (relembrando, a Sudeste ou Sudoeste apenas existe uma perda máxima de energia de 5%, o que praticamente não afeta a produção), optou-se por instalar os painéis híbridos na disposição dos edifícios, principalmente por uma questão de estética e para assegurar espaço para os painéis fotovoltaicos, caso o cliente pretenda instalar.

Assim, repetindo a medição do ângulo de orientação dos painéis para os restantes edifícios:

- No edifício R2 os painéis devem ser orientados a 15° a sudeste;
- No edifício R31 os painéis devem ser orientados a 25° a sudeste;
- No edifício R32 os painéis devem ser orientados a 25° a sudoeste;
- No edifício R33 os painéis devem ser orientados a 30° a sudeste;
- No edifício R34 os painéis devem ser orientados a 45° a sudoeste.

Na Quinta da Nora, durante um dia, os painéis orientados a sudeste vão começar a produzir mais cedo e acabam mais tarde, enquanto que os painéis orientados a sudoeste começam a produzir mais tarde e acabam mais cedo.

Relativamente ao ângulo de inclinação dos painéis, recorrendo à tabela 2.3 e relembando que a latitude na zona de Coimbra é cerca de 40°, o ângulo ótimo é 35°.

3.5. Dimensionamento *Software Abora Solar*

Recorre-se ao *software Abora Solar* para confirmar e comparar os resultados obtidos no dimensionamento, presentes no Anexo C.4.

Esta ferramenta de simulação relaciona as variáveis e utiliza modelos de fluxo energético que demonstram a interação dos componentes do sistema, devolvendo o número de painéis híbridos indicado para cada caso.

No entanto, alguns fatores importantes como a área disponível, sombreamento, etc., não são tidos em conta em pormenor, pelo que o resultado não deve ser tomado como absoluto, mas sim como orientação para o dimensionamento final. Por outro lado, o *software* permite relacionar outras variáveis que no dimensionamento já efetuado se tornaria demasiado complexo, por exemplo a radiação solar disponível, condições climáticas, etc. tornando o dimensionamento mais fácil e preciso.

Por esta razão, esta ferramenta será utilizada como complemento para o dimensionamento efetuado no capítulo anterior.

Primeiramente são preenchidos os dados necessários ou *inputs*: necessidades energéticas, determinadas no capítulo 3.3, tipo de sistema auxiliar, localização, número de utilizadores, entre outros, abordados no início do capítulo 2.6. Na figura 3.9 é possível observar os *inputs* dos parâmetros da instalação, para a residência Quinta da Nora.

INSTALLATION PARAMETERS

TYPE OF INSTALLATION:

Single family house

Multidwelling house

Tertiary sector

TYPE OF DEMAND:

DHW

DHW+heating

DHW+pool

DHW+heating+pool

Monthly demand known?

TYPE OF AUXILIARY SYSTEMS'S FUEL:

Natural gas

Combustible: Natural gas

CO2 emissions coef. fuel (kg CO2 / kWh) 0,252

CO2 emissions coef. electricity (kgCO2 / kWh) 0,396

Nominal performance 0,920

Seasonal performance 0,750

fuel price (€/kWh) 0,051

Electricity price (€/kWh) 0,120

TYPE OF CONNECTION:

Self-consumption

Electrical utilization factor: 100 %

Do you know the electricity demand of the building?

THERMAL DEMAND

TERTIARY SECTOR DHW DEMAND

Select the type of building: Residence

Select the number of people: 0

Other consumptions temperature (°C) 60

Demand at 60°C (liters/day pers) 41

Other demands (liters/day) 0

THERMAL SCHEME

ELECTRICAL SCHEME

Occupancy (%)	100												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
DHW (kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heating (kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pool (kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL (kWh)	11.880	11.656	14.149	12.608	13.449	10.311	7.565	2.494	7.733	13.449	14.289	11.768	131.351

ELECTRICAL DEMAND

How do you want to enter the demand value? Annual Per month

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
Demand (kWh)	9.460	7.800	8.488	7.852	7.884	7.072	6.816	5.128	3.608	4.268	4.624	7.732	76.732

Figura 3-9: Inputs dos parâmetros da instalação para a residência Quinta da Nora

De seguida o algoritmo realiza o dimensionamento, considerando perdas predefinidas pelo mesmo. A ferramenta de simulação estimou serem necessários 52 painéis híbridos, resultado que pode ser manipulado consoante a produção de energia desejada, também devolvida pelo *software*. Na tabela C.1 encontra-se um sumário dos resultados para esta instalação, representados graficamente na figura 3.10 e 3.11.

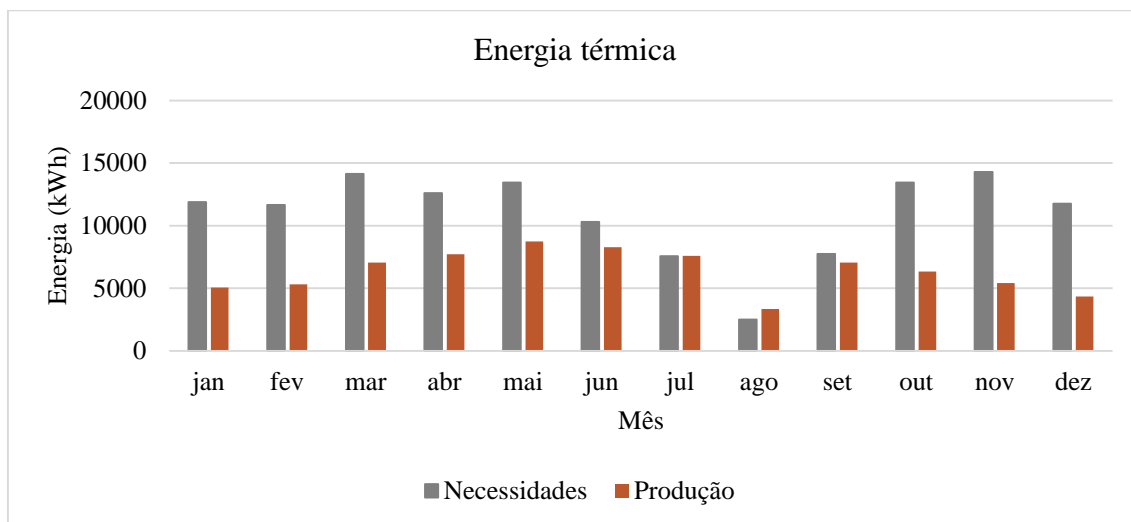


Figura 3-10: Sumário dos resultados térmicos devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Quinta da Nora (52 PVT)

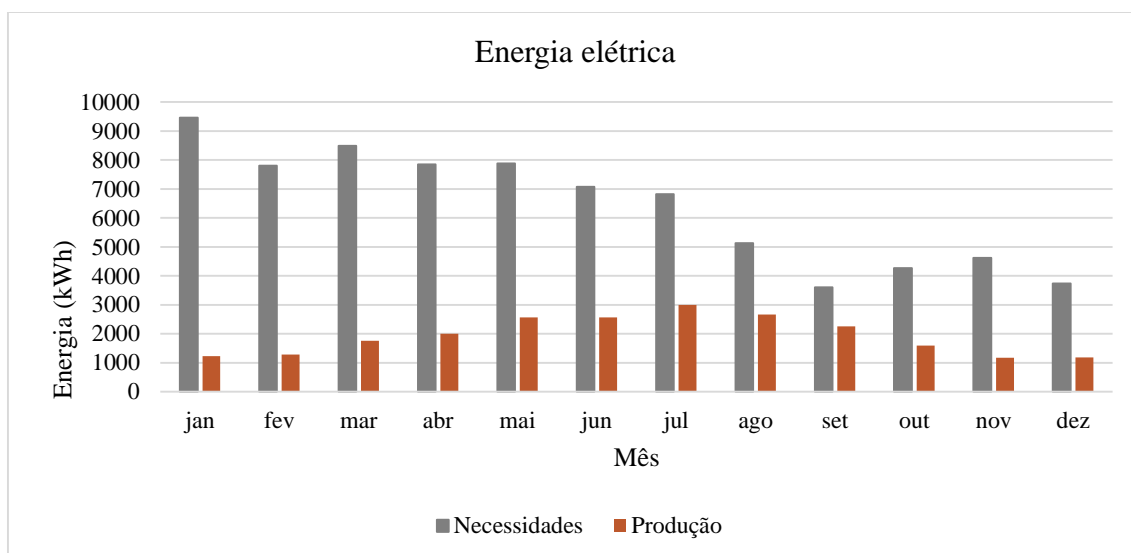


Figura 3-11: Sumário dos resultados elétricos devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Quinta da Nora (52 PVT)

Relativamente à cobertura térmica, é satisfatória nos meses de verão. Em Agosto verifica-se um excedente de 40%, como esperado. Nos meses de inverno só se atingem coberturas térmicas entre 40 a 50 %, precisamente de modo a evitar excedente em meses de verão. Relativamente à cobertura elétrica, é relativamente baixa praticamente em todos os meses do ano, estando numa média de 30%. Para esta instalação a potência instalada é 18 kW, segundo o *software*.

A água quente produzida é armazenada num depósito, podendo ocorrer a sua distribuição ao longo do dia, conforme as necessidades dos utilizadores. Já na eletricidade, exceto sistemas PV com armazenamento através de baterias, existe uma

maior probabilidade de se produzir energia que não será utilizada, uma vez que o *software* não tem em conta a distribuição do consumo elétrico e o facto da energia ter de ser consumida à medida que é produzida. Isto quer dizer que a produção num dia até pode ser capaz de suprir as necessidades elétricas desse mesmo dia, mas se os horários de produção não forem compatíveis com os de utilização a energia é exportada para a rede, mesmo a custo zero, e por isso trata-se de excedente. Por essa razão o *software* tem como referência apenas as necessidades térmicas para o cálculo dos painéis híbridos.

Posto isto, pode afirmar-se que 52 painéis híbridos suprem satisfatoriamente as necessidades térmicas. Consequentemente, segundo a figura 3.11, a produção elétrica representa apenas 30% das necessidades, uma cobertura bastante inferior à cobertura térmica. Porém, a potência instalada, 18 kW, é igual à potência média da instalação, calculada no Anexo C.3.

Vejamos o seguinte exemplo hipotético na figura 3.12, onde se representa graficamente a potência elétrica durante um dia pela curva a negrito. A área abaixo da curva representa o consumo elétrico nesse dia. Se o dimensionamento for efetuado para a potência de pico ou uma potência superior à potência média da instalação, como 25 kW, a cobertura das necessidades elétricas é praticamente total durante as horas de produção (área a cinza claro mais cinza escuro), mas existe excedente significativo (área a vermelho). Se o dimensionamento for efetuado para a potência média da instalação, 18 kW, a produção é moderada, ou seja apesar de nas horas de pico não se produzir o consumo na totalidade (área a cinza escuro), o excedente é praticamente eliminado.

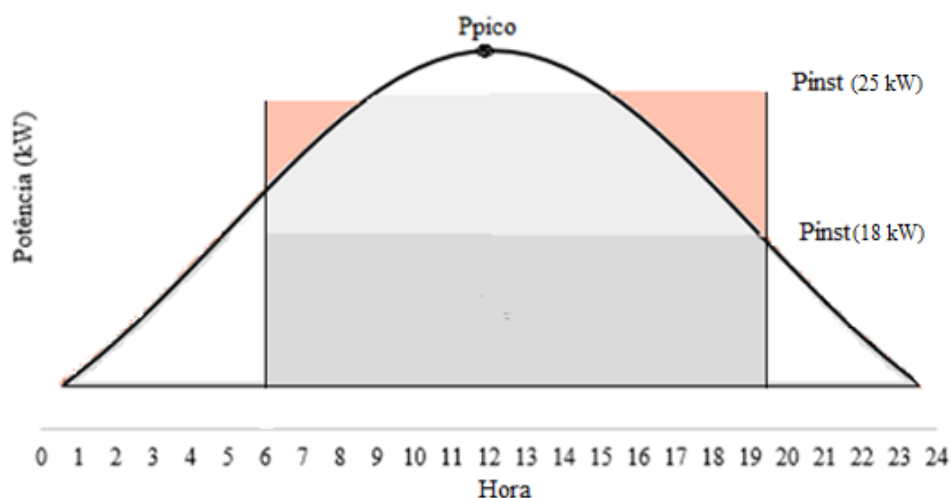


Figura 3-12: Curva de produção elétrica

Em suma, apesar da cobertura elétrica não ser tão elevada estão a evitar-se excedentes elétricos que não justificariam o investimento. Logo deve-se optar por uma instalação que tanto evite os excedentes elétricos como produções térmicas insatisfatórias. Para isso um possível critério é respeitar o limite imposto pela potência média da instalação nos meses de verão, permitindo assim restringir a produção de energia elétrica excedente.

De acordo com o Anexo C.3, na Quinta da Nora a potência da instalação deve ser 18 kW e em Bencanta 15 kW.

Então, conclui-se que para a instalação dimensionada pelo *software* para a Quinta da Nora, as coberturas térmicas são satisfatórias, e os excedentes são evitados devido à potência instalada, 18 kW, ser igual à potência média da instalação. A cobertura térmica anual é 57% e a elétrica 30%. Ou seja, a instalação será constituída por 52 híbridos no total.

Esta instalação produz energia de forma eficiente e limpa, permitindo reduzir significativamente a fatura energética da residência Quinta da Nora em 7915 € por ano e evitar a emissão de quase 35 toneladas de CO₂ por ano, segundo resultados estimados pelo *software*.

Para o caso da residência de Bencanta realiza-se uma análise idêntica. Porém, o *software* estimou serem necessários 74 híbridos, correspondente a uma potência instalada de 26 kW. No entanto, de modo a cumprir a potência média da instalação, 15 kW, o número de painéis deve baixar para 44 híbridos, segundo os resultados do *software*. Na tabela C.2 encontra-se o sumário dos resultados para este número de painéis, representados graficamente na figura 3.13 e 3.14.

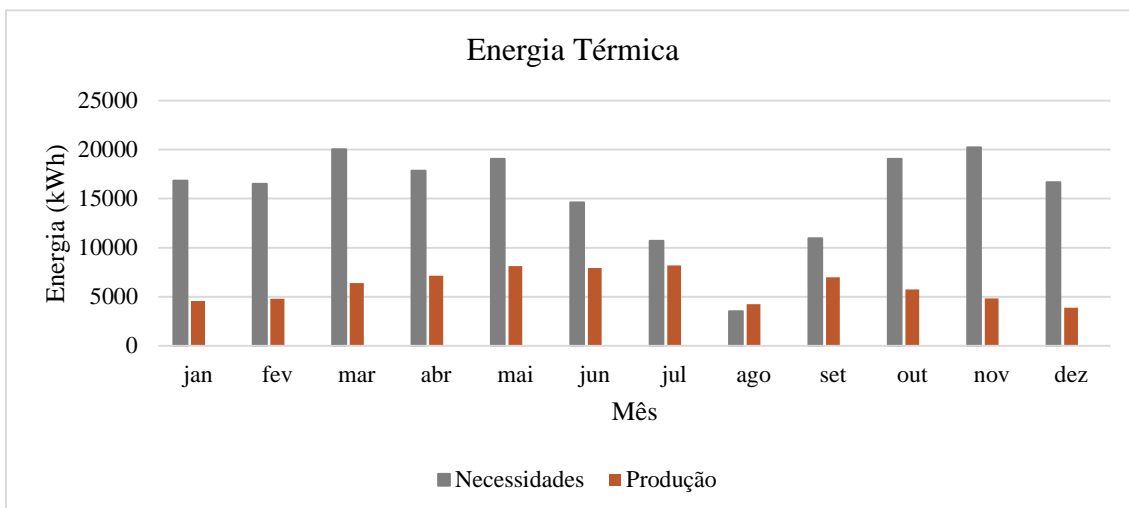


Figura 3-13: Sumário dos resultados térmicos devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Bencanta (44 PVT)

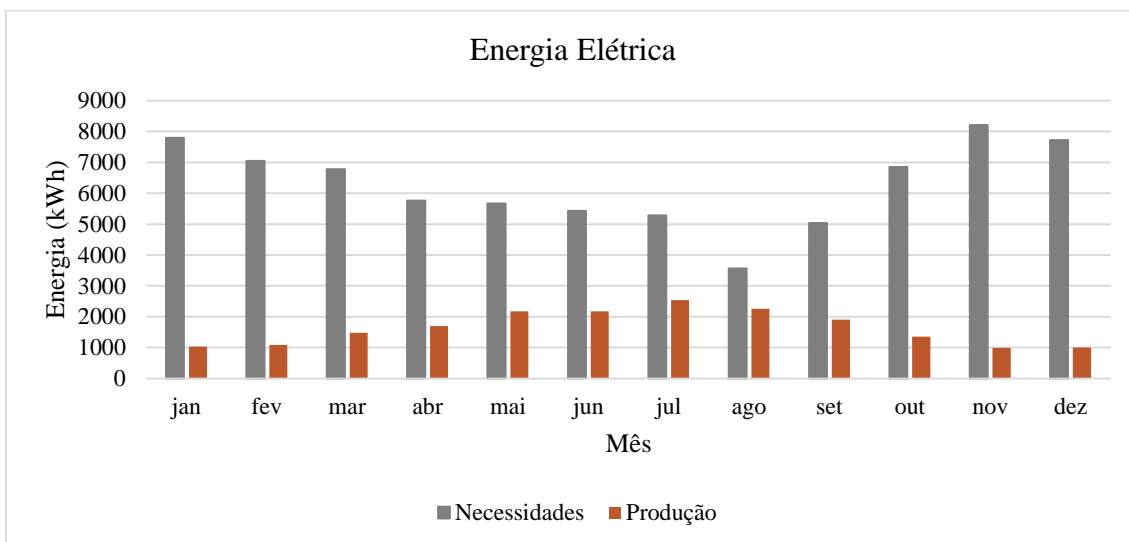


Figura 3-14: Sumário dos resultados elétricos devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Bencanta (44 PVT)

Com este número de painéis, apesar da cobertura térmica anual baixar de 58%, para a instalação de 74 híbridos, para 39%, para a instalação de 44 híbridos, garante-se que se eliminam os excedentes, enquanto a produção térmica se mantém satisfatória. Se o cliente desejar aumentar a cobertura térmica, pode sempre optar por adicionar coletores solares térmicos, como já referido anteriormente. A cobertura elétrica anual para esta instalação é 26%.

Estes valores se traduzem numa produção eficiente e limpa, permitindo reduzir a fatura energética em 7280 € por ano e evitar a emissão de 50 toneladas de CO₂ por ano.

Relembrando o primeiro dimensionamento, o número de painéis híbridos estimado na Quinta da Nora foi 35, enquanto que pelo *software* verificou-se serem necessários 52. Ou seja, de acordo com o primeiro dimensionamento, 35 híbridos seriam necessários para suprir todas as necessidades térmicas, o que não vai necessariamente de encontro com a realidade. Este foi efetuado para condições ótimas de produção, para a potência nominal, enquanto que o *software* estima os resultados de acordo com condições próximas da realidade. Por exemplo, no gráfico da figura 3.15, comprova-se que o rendimento térmico do painel pode baixar até 20% quando opera à temperatura de produção de AQS (geralmente entre 50 a 60 °C), o que irá automaticamente aumentar o número de painéis necessários.

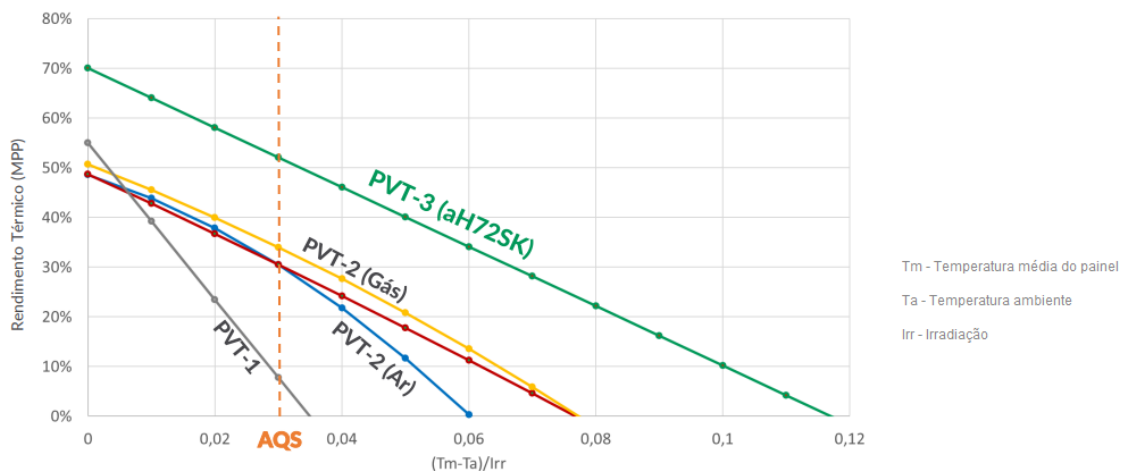


Figura 3-15: Rendimento térmico do painel solar híbrido Abora relativamente à sua temperatura de operação (Adaptado de [26])

Para Bencanta o primeiro dimensionamento estimou serem necessários 44 híbridos, enquanto o *software* determinou inicialmente 74, pelas razões explicadas anteriormente. No entanto, neste caso, a análise deve ser feita de forma diferente, porque a instalação de 74 híbridos não respeitava a potência média elétrica da instalação, o que iria culminar em elevados excedentes. Assim manipulou-se o resultado de modo que a potência instalada igualasse a potência média da instalação, de onde se obteve uma instalação com 44 híbridos, tal como previsto pelo primeiro dimensionamento.

Pode concluir-se pela análise efetuada que: a instalação será composta por 52 híbridos (13 por edifício) na residência Quinta da Nora e 44 híbridos (22 por edifício) na residência Bencanta. Na figura 3.16 e 3.17 encontram-se os modelos da instalação final proposta, à escala, elaborado em AUTOCAD.

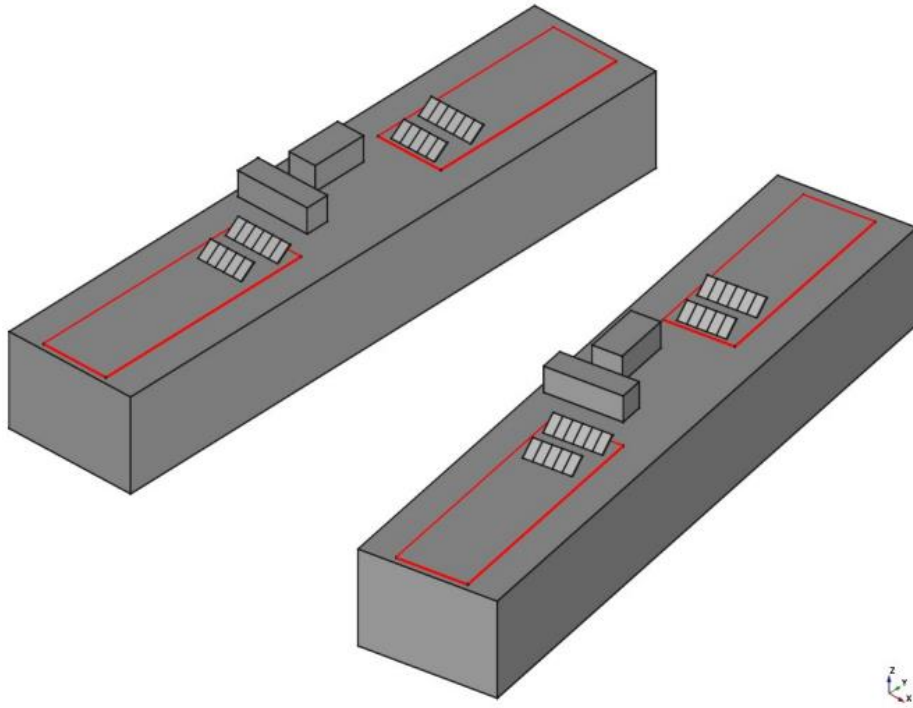


Figura 3-16: Modelo da instalação PVT na residência Bencanta

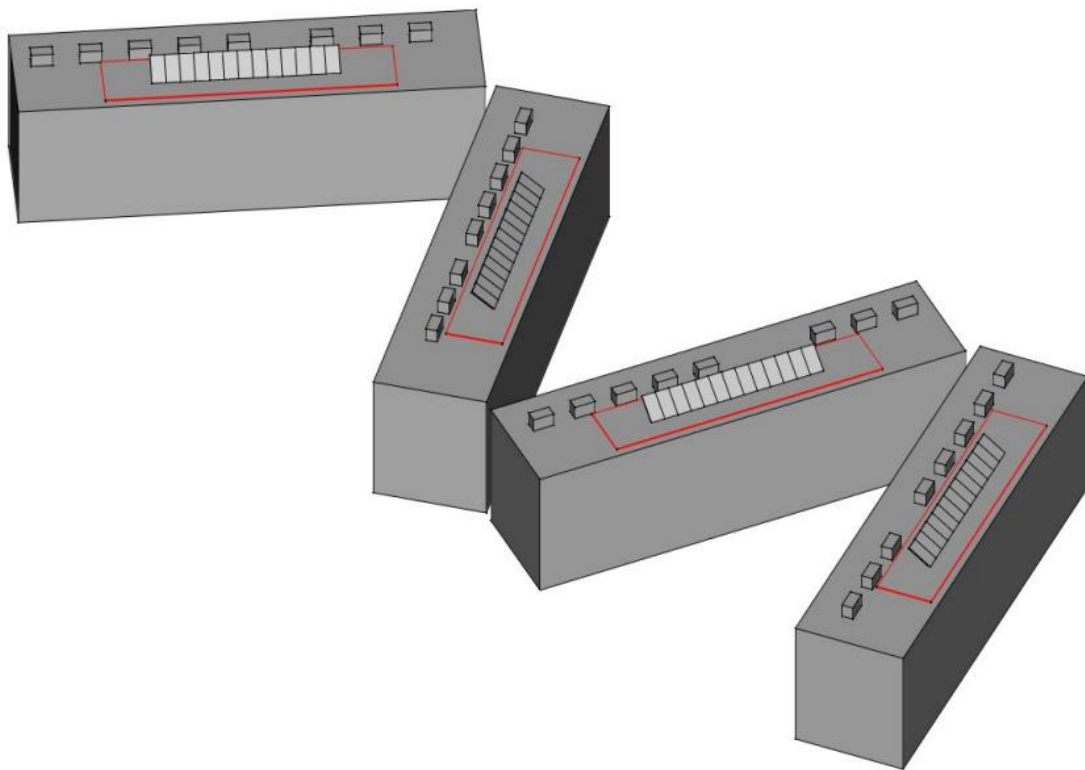


Figura 3-17: Modelo da instalação PVT na residência Quinta da Nora

Como é possível confirmar a partir dos modelos, ainda sobra bastante área nas coberturas. No entanto, na Quinta da Nora, se os painéis fossem instalados a sul, como explorado na figura 3.8, não caberiam os 13 híbridos necessários, pelo que, para a instalação dimensionada, é necessário que estejam orientados segundo a disposição dos edifícios. Uma proposta a discutir com o cliente seria então a instalação de coletores solares térmicos na Bencanta e painéis fotovoltaicos na Quinta da Nora (alertando para o excedente propício neste caso), com objetivo de suprir as restantes necessidades térmicas e elétricas, respetivamente. Outra alternativa seria também a partir de uma bomba de calor, por exemplo. As necessidades elétricas que não forem supridas, devido à distribuição horária ou falta de condições para a produção, poderá ser suprida a partir da rede, ou então propor uma instalação de baterias de lítio para armazenar possíveis excedentes de energia.

3.6. Dimensionamento de depósitos e inversores

Neste caso os depósitos e inversores podem ser instalados de forma comum por residência ou individualmente por edifício. Para decidir deve-se ter em conta as perdas de energia no circuito entre os painéis e os inversores ou depósitos, o investimento em cabos e tubagens e ainda nos próprios equipamentos necessários para o efeito, e concluir em que termos é que a sua instalação compensa mais. No entanto, este tópico não será abordado nesta dissertação, pressupondo-se que compensa instalar tanto os depósitos como os inversores por cada edifício.

- **Depósitos**

Será instalado um depósito por cada edifício, para armazenar toda a água quente produzida num dia. Sabendo a produção útil de AQS que as instalações dimensionadas proporcionam a cada uma das residências (tabela C.1 e C.2) e recorrendo à fórmula 2.10, é possível estimar o volume de água aquecido diariamente em cada edifício, M_{AQS} . O processo de cálculo é o inverso ao demonstrado no Anexo B.1 e pode ser consultado no Anexo D.

De modo a assegurar que todos os meses é possível armazenar toda a quantidade de água que é produzida diariamente, os depósitos são dimensionados tendo como referência o mês de maior produção de água quente. No caso da residência Quinta da Nora, estimou-se que seria necessário armazenar no máximo 1235 litros por dia. Na Bencanta, 2312 litros por dia.

Conclui-se que são necessários dois depósitos de 2500 litros em Bencanta e quatro depósitos de 1300 litros em Quinta da Nora, um por cada edifício.

É ainda necessário dimensionar a serpentina ou o permutador de calor de placas capaz de efetuar a troca de calor entre o fluido térmico proveniente dos painéis e a água do depósito. O processo de cálculo pode ser consultado no Anexo D. Demonstra-se que são necessárias serpentinas com 3,6 m² de área de superfície para transferir o calor produzido pelos painéis na Quinta da Nora. Na Bencanta as serpentinas devem ter 6,0 m². Tendo em conta estas dimensões, consideradas normais para o tamanho dos depósitos em questão, não é necessário recorrer a permutadores de placas para efetuar as trocas de calor envolvidas de forma eficaz.

- **Inversores**

Como referido no capítulo 2.5.4, a potência do inversor deve respeitar certos limites da potência nominal da instalação:

$$0,7 \times P_{max} < P_{max,INV} (DC) < 1,2 \times P_{max}$$

Sabendo que cada painel híbrido tem uma potência elétrica nominal de 350 W, a potência nominal da instalação de cada edifício da residência Bencanta é 7700 W (350×22). Na Quinta da Nora 4550 W (350×13).

Então é necessário um inversor com potência entre 5,4 e 9,2 kW por edifício no caso da residência Bencanta e um inversor com potência entre 3,7 e 6,3 kW por edifício no caso da residência Quinta da Nora.

Tendo por base os inversores da marca *goodwe* [46], disponíveis com potências de 5 kW, 6,5 kW, 8 kW e 10 kW, são necessários 2 inversores de 8 kW na Bencanta e 4 inversores de 5 kW na Quinta da Nora.

3.7. Viabilidade económica e financeira do projeto

Neste subcapítulo será efetuada uma simples avaliação económica e financeira para determinar a potencialidade deste projeto. É essencial que possua uma gestão financeira capaz de assegurar a maximização dos resultados pretendidos ao menor custo e com a máxima rentabilidade dos capitais investidos.

3.7.1. Investimento

Na tabela 3.3 encontra-se discriminado o investimento inicial, aproximado, para este projeto.

Tabela 3-3: Investimento do projeto

	Quantidade	Preço/unidade (€)	Investimento (€)
PVT	96	550,00	52 800,00
Depósito (1,3 m ³) e acessórios	4	5200,00	20 800,00
Depósito (2,5 m ³) e acessórios	2	6200,00	12 400,00
Inversor <i>goodwe</i> 5 kW	4	920,00	3680,00
Inversor <i>goodwe</i> 6,5 kW	2	1058,00	2115,00
Tubos, cabos e outros equipamentos	-	50 605,00	50 605,00
Mão de obra, transporte, estadia	-	30000,00	30000,00
Total (€)			172 400,00

O investimento inicial total é 172 400 €.

3.7.2. Fluxo financeiro: *Cash flow*

O fluxo financeiro, ou *cash flow*, de um projeto é definido como o fluxo de fundos monetários que corresponde ao saldo dos recebimentos e dos pagamentos efetuados, durante um certo período. O *cash flow* global abrange todos os movimentos de dinheiro e é obtido através da diferença entre o *cash flow* de exploração e o *cash flow* de investimento. Assim, um projeto só é rentável quando o *cash flow* global ou acumulado é positivo, em termos de valores atualizados.

Para concretizar uma tabela representativa dos *cash flows*, tabela 3.4, é necessário ter em conta alguns pressupostos adotados pela Filotipo e pelo próprio *software Abora Solar*:

- A análise será feita nos 10 primeiros anos do projeto e depois no 15º e 25º ano;
- O investimento é feito na totalidade no ano 0;
- A produção térmica mantém-se todos os anos;
- A produção elétrica baixa 0,25% cada ano;
- A manutenção da instalação deve ser feita todos os anos, com valor de 600€;

- O preço médio da eletricidade (0,16721 €/kWh em 2022 [47]) e do gás (0,10468 €/kWh em 2022 [48]) sobe em média cerca de 2,5% todos os anos, segundo o Operador do Mercado Ibérico Português (OMIP) [49].

Tabela 3-4: *Cash flows* do projeto

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	25
<i>Cash flow</i> investimento	174 200												
Poupança térmica		18600	19065	19541	20030	20530	21044	21570	22109	22662	23228	127756	511023
Poupança elétrica		7183	7344	7509	7677	7849	8025	8206	8390	8578	8770	41138	115316
Manutenção		600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
<i>Cash flow</i> exploração	-174200	25182	25808	26450	27107	27780	28469	29175	29899	30640	31399	168294	625739
<i>Cash flow</i> global	-174200	-149018	-123209	-96760	-69653	-41873	-13404	15772	45670	76310	107709	276003	901742

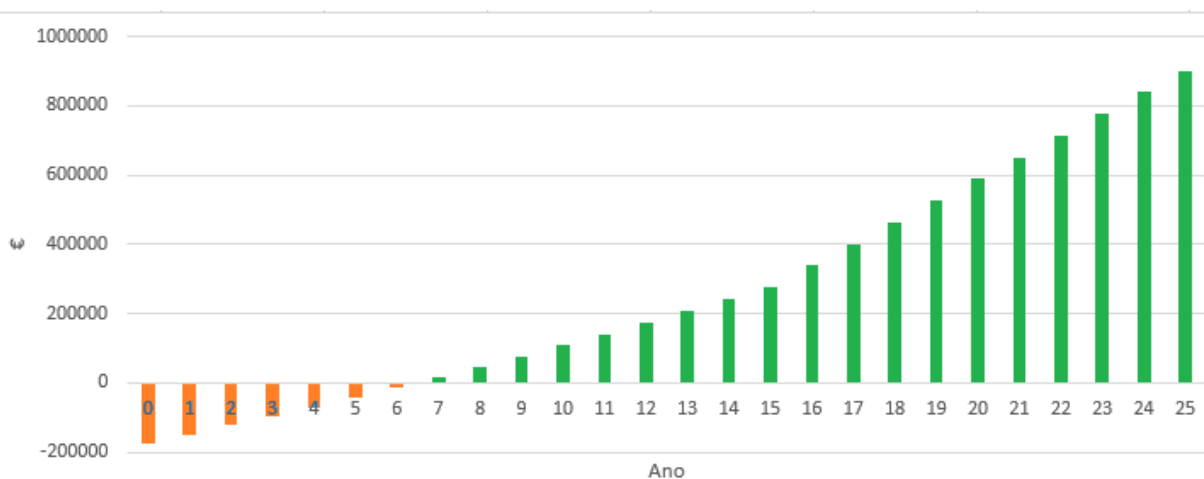


Figura 3-18: *Cash flows* do projeto

O investimento é recuperado ao fim de 6 anos e existe uma poupança total de 901 742 € ao fim de 25 anos nas faturas energéticas.

3.7.3. Critérios de viabilidade

Para avaliar a rentabilidade do projeto é fundamental ter em consideração quatro parâmetros. Para isso recorreu-se à ferramenta Excel, que dispõe de funções que devolvem estes parâmetros através dos *cash flows* determinados.

- **Valor Atualizado Líquido (VAL)**

O VAL é um critério financeiro destinado a avaliar investimentos, comparando os *cash flows* gerados por um projeto e o respetivo capital investido no mesmo.

Como qualquer investimento apenas gera *cash flow* no futuro e o capital tende a desvalorizar em função do tempo, só a partir da atualização dos *cash flows* futuros para o momento presente é que é possível compará-los com o valor do investimento.

Para a atualização é utilizada uma taxa estabelecida para o tipo de projeto em causa. Para este projeto será usada uma taxa de atualização de 6%.

Assim, no caso do valor do investimento ser inferior ao valor atual dos *cash flows*, o VAL é positivo o que significa que o projeto apresenta uma rentabilidade positiva.

- **Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)**

A TIR representa de rentabilidade gerada pelo investimento e corresponde à taxa de atualização que anula o VAL, possibilitando assim avaliar os projetos de forma imediata. Indica que o investidor não irá perder dinheiro se o investimento for cobrado à TIR. Desta forma, quanto mais elevada é a TIR, maior a rentabilidade do projeto. Assim, se a TIR for superior à taxa de atualização, estamos perante um projeto viável.

- **Índice de Rentabilidade (IR)**

O Índice de Rentabilidade (IR), trata-se da medida da rentabilidade efetiva do projeto por unidade de capital investido. Ou seja, traduz a capacidade de geração de fundos, com valor de disponibilidade imediata: se o projeto dá lucro.

- **Payback Period (PBP)**

O período de recuperação do investimento determina o tempo necessário para que as receitas geradas e acumuladas recuperem as despesas em investimento realizadas e acumuladas durante o período de vida do projeto.

Na tabela 3.5 é possível consultar os parâmetros de avaliação da viabilidade económica deste projeto.

Tabela 3-5: Critérios de avaliação da viabilidade económica e financeira do projeto

Viabilidade económica e financeira	
VAL (€)	406 125
TIR (%)	23
IR	1,43
PBP (anos)	6

O projeto apresenta um VAL positivo o que significa que é plausível que se invista no projeto, é economicamente viável.

O valor da TIR deste projeto é de 23 %, o que permite afirmar que o projeto é rentável visto que se trata de uma percentagem alta e superior à taxa de atualização.

O IR é positivo o que aponta para a existência de lucros provenientes deste projeto, 1,43 € por unidade de capital investido.

O PBP do projeto é 6 anos, o que significa que o capital investido é recuperado em 2029, durante a vida útil do projeto.

Pela avaliação dos parâmetros conclui-se que o projeto é viável.

4. Conclusão

A presente dissertação propõe um projeto de dimensionamento de painéis solares híbridos para a Unidade de Alojamento e Hotelaria dos SASIPC composta por duas residências universitárias, Bencanta e Quinta da Nora, de onde se retiraram as seguintes conclusões.

A pedido do cliente e por questões práticas a instalação foi projetada para as coberturas das residências. Para calcular a área disponível, recorreu-se à ferramenta Google Maps e atendeu-se às restrições impostas pelos limites das coberturas, sombreamentos causados por objetos e próprios painéis circundantes. A área total disponível para a instalação é 966 m².

Para a análise dos consumos energéticos recorreu-se às faturas de gás natural e eletricidade do ano 2019, disponibilizadas pelo cliente. Estimou-se que a percentagem média de gás natural utilizado para AQS situa-se por volta dos 30%. Na residência de Bencanta o consumo médio foi 15506 kWh e na Quinta da Nora 10945 kWh. Relativamente à eletricidade, a potência média anual em Bencanta foi 14,67 kW e em Quinta da Nora 15,04 kW.

Para a realização do dimensionamento estimou-se o número de painéis que permitem, simultaneamente, satisfazer de forma razoável as necessidades e evitar desperdícios de energia. Para isso teve-se como referência os meses de verão, Abril a Setembro. Contabilizaram-se perdas na instalação de 20%, de acordo com os métodos de cálculo da Filotipo. Deste forma, concluiu-se serem necessários 44 painéis híbridos em Bencanta e 35 em Quinta da Nora.

Em seguida recorreu-se ao *software Abora Solar* para complementar este resultado. A partir dos resultados devolvidos, concluiu-se que para uma instalação com 44 painéis em Bencanta e 52 em Quinta da Nora, praticamente não existem excedentes de energia. Na Quinta da Nora a cobertura térmica anual é 57% e a elétrica 30%, com uma potência de instalação de 18 kW. Em Bencanta a cobertura térmica anual é 39% e a elétrica 26%, com uma potência de instalação de 15 kW. Estes resultados foram considerados satisfatórios uma vez que se traduzem numa poupança total de cerca de 15195 € nas faturas energéticas e evita a emissão de 85 toneladas de CO₂, em cada ano.

Posto isto, analisaram-se os dimensionamentos efetuados pelos dois métodos, optando-se finalmente por uma instalação com 44 híbridos em Bencanta e 52 em Quinta da Nora.

A partir da ferramenta AUTOCAD desenhou-se uma planta dos edifícios, onde, à escala, se observou que o número de painéis dimensionados se encaixavam nas áreas disponíveis. Em cada edifício da residência Bencanta serão instalados 22 painéis a Sul e da Quinta da Nora 13 painéis a Sudeste e a Sudoeste, dependendo da orientação do edifício. Tendo em conta a latitude na zona de Coimbra, os painéis devem ser instalados com uma inclinação de 35°.

Para esta instalação são necessários dois depósitos de 2500 litros e dois inversores de 8 kW em Bencanta. Na Quinta da Nora quatro depósitos de 1300 litros e quatro inversores de 5 kW.

Por fim, realizou-se uma análise da viabilidade económica e financeira para determinar a potencialidade deste projeto. Estimou-se um investimento inicial e total de 174 200€. O VAL (406 125 €) foi positivo, a TIR (23 %) elevada e o IR (1,43) positivo, o que indica que o projeto é economicamente viável e rentável, proporcionando lucros. Quanto ao PBP, o capital investido será recuperado ao fim de 6 anos. Concluiu-se que é economicamente viável investir no projeto, pois a instalação tem capacidade de gerar valor todos os anos.

Bibliografia

- [1] G. Amanatidis, “Fichas temáticas sobre a União Europeia,” 9 2022. [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/pt/FTU_2.5.2.pdf. [Acedido em 8 9 2022].
- [2] J. D. Guillot, “O que é a neutralidade das emissões de carbono e como pode ser atingida até 2050?,” p. 5, 7 9 2022.
- [3] INE, “Resultados preliminares do Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico - 2020,” 19 julho 2021. [Online]. Available: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=512530049&DESTAQUESmodo=2&xlang=pt. [Acedido em 15 9 2022].
- [4] INE, D. e A. , “Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (2020)”.
- [5] DGEG, Observatório de Energia e ADENE, “Energia em Números,” Lisboa, ADENE, 2022, p. 90.
- [6] R. Lima, “Estudo e Implementação de Sistema Híbrido de microgeração,” Universidade do Minho, 2012, pp. 6-12.
- [7] GREENPRO, Energia Solar Térmica- Manual sobre tecnologias, projeto e instalação, GREENPRO, Janeiro 2004.
- [8] C. Magarreiro, S. Freitas e M. C. Brito, “Radiação e energia solar,” *Gazeta de Física*, p. 57, 06 2016.
- [9] E. Communities, “Mapas radiância solar,” 2006. [Online]. Available: <https://www.electronica-pt.com/mapas-radiacao-solar>. [Acedido em 22 09 2022].
- [10] C. L. V. Lda.. [Online]. Available: <https://pt.weatherspark.com/>.
- [11] S. GIS, “Solar Radiation Map of Europe: Global Horizontal Irradiance Map of Europe,” 2011. [Online]. Available: <https://solargis.com/?select=71>. [Acedido em 14 12 2022].
- [12] T. R. C. Teixeira, “Estudo de um Sistema Híbrido com Colectores Solares Termo-Fotovoltaicos Acoplados a um Termogerador Eléctrico,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.
- [13] F. Miguéis, “Condução de Auditorias Energéticas no setor industrial:Caso de estudo Prático,” Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2018.
- [14] P. Reis, “Preciso mesmo de um painel solar térmico em minha casa?,” 7 09 2018. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/preciso-painel-solar-termico-casa/>. [Acedido em 06 01 2022].
- [15] T. Figueira, Energia Solar em Portugal. Mapeamento do potencial fotovoltaico com recurso a Sistemas de Informação Geográfica., Universidade Nova de Lisboa, 2019.

- [16] C. Nascimento, Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica, 2004.
- [17] Sistemas de Bombagem de Água utilizando Energia Solar Fotovoltaica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.
- [18] P. Ferreira, Criação de algoritmo para escolha automática de tecnologias de produção de energia térmica e elétrica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2020.
- [19] R. Ovelha, Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica numa moradia offgrid, Lisboa: Universidade de Lisboa, 2017.
- [20] “O painel mais eficiente do mercado- Painel solar híbrido aHTech,” Abora.
- [21] S. Riffat e E. Cuce, “A review on hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems,” *International Journal of Low-Carbon Technologies* , pp. 212-241, 2011.
- [22] A. Hadipour, . M. Zargarabadi e S. Rashidi, “An efficient pulsed- spray water cooling system for photovoltaic panels: Experimental study and cost analysis,” p. 9, 2020.
- [23] K. Sornek, . W. Goryl, R. Figaj, G. Dabrowska e J. Brezde ´n, “Development and Tests of the Water Cooling System Dedicated to Photovoltaic Panels,” p. 16, 2022.
- [24] C. A. F. Ramos, A. N. Alcaso e A. J. M. Cardoso, “Photovoltaic-thermal (PVT) technology: Review and case,” 2019.
- [25] A. Baggenstos, A. Mellor , A. Gagliano, C. Corino, D. Zenhäusern, D. Cabral, G. Ryan, I. Guedea, L. Brottier, U. Ruoff, M. Schubert, M. Lämmle , M. Pellegrini, M. Dannemand, M. Cañada, N. Radisch, N. Pokorny e T. Ramschak, Existing PVT systems and solutions, 2020.
- [26] A. Solar, “Ficha técnica abora aH72SK”.
- [27] R. Pilão, “Fornecimento E.E,” em *GEREPR*, ISEP, 2021.
- [28] E. distribuição, Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público, 2018.
- [29] LUZIGAS, “Opção horária,” 2022. [Online]. Available: <https://www.luzigas.pt/opcao-horaria/>.
- [30] “Decreto-Lei n.º 162/2019 – Novas regras aplicáveis ao Autoconsumo de Energia Renovável,” 2022. [Online]. Available: https://www.google.com/search?q=enquadramento+legislativo+dos+paineis+sola res+2022&sxsrf=ALiCzsaZrOR4xOJdXjm-vGt9mOjZhrZ43w%3A1667386896615&ei=EE5iY8qVJciaa76cncAL&oq=enquadramento+legislativo+dos+paineis+sola res+&gs_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnC4AQH4AQEqAggAMgU.
- [31] S. Freitas, Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, Instituto Politécnico de Bragança, 2008.
- [32] E. R. d. S. Energéticos, “Regulação da Energia - Legislação Essecial,” Entidade Reguladora de Serviços Energéticos, 2022, pp. 31-32.

- [33] D. Fagueiro, Implementação de Painéis Fotovoltaicos em Rede de Iluminação Pública, Lisboa: Técnico Lisboa, 2021.
- [34] V. Ribeiro, “DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES SOLARES TÉRMICAS EM EDIFÍCIOS,” Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014, pp. 6-7.
- [35] S. T. Spencer, “Portaria 138-I/2021, 1 de julho Requisitos para Sistemas Solares Térmicos; Portaria 701-H/2008, 29 de julho Conteúdo obrigatório do programa e do projeto de execução,” Academia ADENE, 2021.
- [36] R. i. news, “Painéis solares para casa: em que direção devem ser instalados?,” 15 11 2021. [Online]. Available: <https://www.idealista.pt/news/imobiliario/habitacao/2021/11/15/49693-paineis-solares-para-casa-em-que-direcao-devem-ser-instalados>. [Acedido em 23 11 2022].
- [37] G. Machado, Dimensionamento de um sistema solar térmico para aquecimento da água da piscina do IST, Técnico Lisboa, 2017.
- [38] M. Bellacosa, Instalação de coletores de energia solar térmica em edificações existentes: estudo comparativo nobrasil e em portugal, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2016.
- [39] D. d. República, “Despacho (extra) n.º 15793- I/2013,” Ministério do ambiente, Ordenamento, 2013.
- [40] ADENE, “Guia SCE – Indicadores de Desempenho Energético (REH),” 2020, p. 24.
- [41] I. Mendes, Dimensionamento de um sistema de energia fotovoltaica para autoconsumo, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2019.
- [42] Sunfer, “Velocidades de viento. Coeficientes de presión externa para coplanar en cubiertas inclinadas metálicas.,” 2021.
- [43] SUNFER, “Velocidades de viento - Coeficientes de presión externa en cubiertas,” 2021.
- [44] ValkBox3, “Required ballast Portugal”.
- [45] S. Penaka, Dalarna University Solar Energy Engineering, 2020.
- [46] “GOODWE,” GOODWE, [Online]. Available: https://emea.goodwe.com/?gclid=CjwKCAjwpuajBhBpEiwA_Ztfhb_WpO9hr_q8A8ihEg4WGsNayMXEplawvkMwHTB2WFt5uBp9vdhjXxoCYj0QAvD_BwE. [Acedido em 02 06 2023].
- [47] OMIE, “OMIE- Evolução do mercado de eletricidade. Relatório Anual.,” [Online]. Available: <https://www.omie.es/sites/default/files/2023-02/Informe%20Anual%202022%20POR.pdf>.
- [48] MIBGAS, “MIBGAS,” [Online]. Available: https://www.mibgas.es/pt/file-access?path=AGNO_2022/XLS. [Acedido em 05 06 2023].

- [49] OMIP, “OMIP- Operador Mercado Ibérico Português,” [Online]. Available: <https://www.omip.pt/pt>. [Acedido em 02 06 2023].
- [50] SUNFER, “Velocidades de viento - Coeficientes de presión externa para coplanar en cubiertas inclinadas metálicas,” 2021.
- [51] N. Connor, “Thermal Engineering,” 24 01 2020. [Online]. Available: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-coeficiente-de-transferencia-de-calor-por-conveccion-definicao/>. [Acedido em 23 06 2023].
- [52] R. P. -. S. G. d. Ambiente, “01/C13-i02 - Eficiência Energética em Edifícios da Administração Pública Central,” 2023. [Online]. Available: <https://www.fundoambiental.pt/apoios-prr/c13-eficiencia-energetica-em-edificios/01c13-i02-eficiencia-energetica-em-edificios-da-administracao-publica-central.aspx>. [Acedido em 22 02 2023].

Anexos

Anexo A. Área disponível para a instalação

Tendo em conta as medidas na figura A.1 e de acordo com a equação A.1, a área total do telhado é aproximadamente 1820 m² (910 m² por edifício, $A_{\text{telhadoR1}}$), no caso da residência de Bencanta.



Figura A-1: Residência em Bencanta (R1)

$$A_{\text{telhadoR1}} = 65 \times 14 = 910 \text{ m}^2$$

Equação A.1

De acordo com a figura A.2 e equação A.2, a área total do telhado é 1024 m² (256 m² por edifício, $A_{telhadoR3}$), no caso da residência da Quinta da Nora.

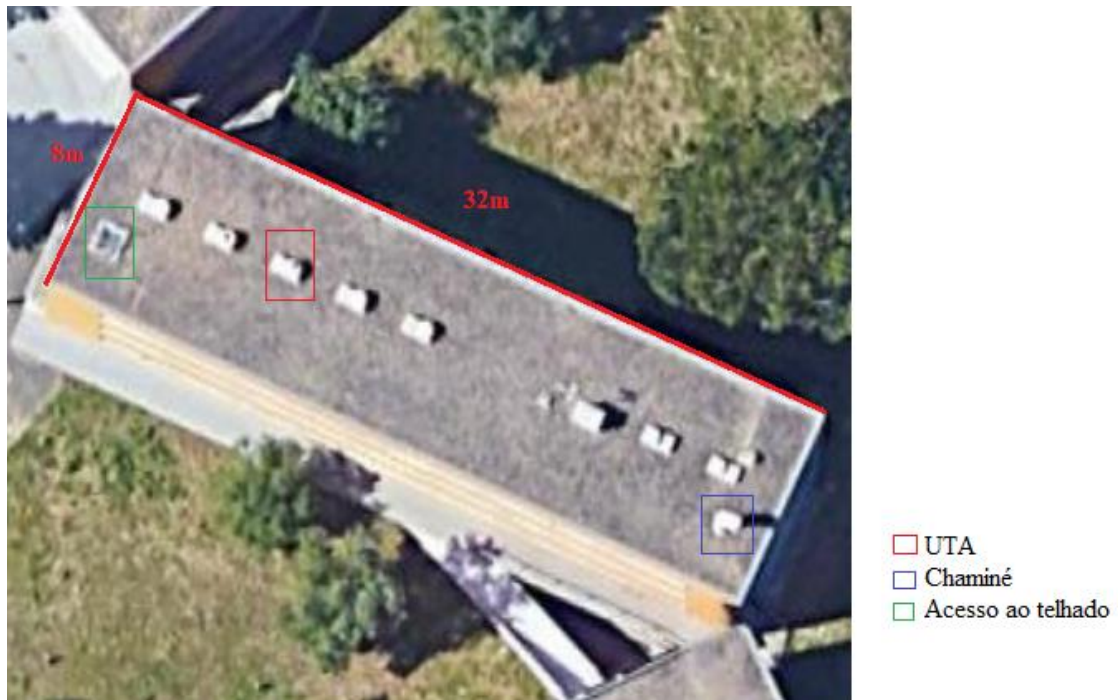


Figura A-2: Residência da Quinta da Nora (R3)

$$A_{telhadoR3} = 32 \times 8 = 256 \text{ m}^2 \quad \text{Equação A.2}$$

Nestas figuras é ainda possível observar as obstruções existentes nos telhados de cada residência. Na tabela A.1 estão identificadas as obstruções em cada edifício e a respetiva altura.

Tabela A-1: Obstruções nos telhados das residências e altura, em m.

Residência Bencanta (R1 e R2)		
Obstrução	Quantidade	Altura (m)
Caixa de elevador	2	2
Chaminé	1	1
Residência Quinta da Nora (R3)		
Obstrução	Quantidade	Altura (m)
UTA	8	0,5
Chaminé	1	1
Acesso	1	0

De acordo com a figura 2.13 e as equações 2.4 a 2.6, a determinação da distância que um painel deve ter de uma obstrução pode ser adaptado a este método de cálculo, e estão exemplificadas nas equações abaixo.

- Exemplo de cálculo para a caixa de elevador na residência de Bencanta

Na figura A.3 encontra-se o esquema para determinar a distância a que os painéis devem estar da caixa de elevador.

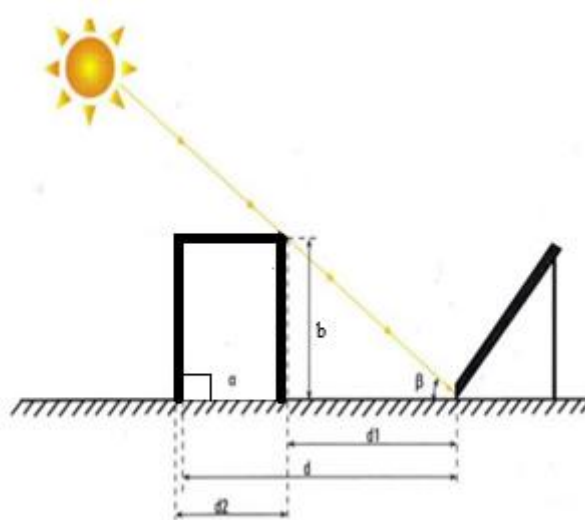


Figura A-3: Distância de sombreamento entre uma obstrução (caixa de elevador) e um painel.

Assim, sabendo que:

$$L=40^\circ$$

$$\delta_s=23,5^\circ$$

$$\alpha=90^\circ$$

$$b=2\text{m}$$

$$\beta = 90 - |40 - 23,5| = 26,5^\circ \quad \text{Equação A.3}$$

$$d1 = 2 \times \frac{\text{sen } 90}{\text{tg } 26,5} = 4,0 \text{ m} \quad \text{Equação A.4}$$

Os painéis devem ser instalados a 4 metros das caixas de elevador existentes no telhado da residência de Bencanta.

Seguindo o mesmo exemplo de cálculo determinaram-se estas distâncias para as restantes obstruções, representadas na tabela A.2.

Tabela A-2: Distâncias entre as obstruções e os painéis.

Residência Bencanta (R1 e R2)	
Obstrução	Distância dos painéis (m)
Caixa de elevador	4,0
Chaminé	2,0
Residência Quinta da Nora (R3)	
Obstrução	Distância dos painéis (m)
UTA	1,0
Chaminé	2,0
Acesso	0,0

Posto isto, a área em volta das obstruções que possa estar sujeita a sombreamentos, onde não é aconselhado instalar painéis, não deve ser contabilizada para a área total disponível para a instalação.

Da mesma forma, calcula-se a distância de sombreamento entre fileiras de painéis solares, que de acordo com a figura 2.13 e as especificações do coletor PVT AH72 SK da Abora Solar (tabela 2.1):

$$L=40^{\circ} \quad \delta_s=23,5^{\circ} \quad \alpha=30^{\circ} \quad b\sim 2\text{m}$$

$$\beta = 90 - |40 - 23,5| = 26,5^{\circ} \quad \text{Equação A.5}$$

$$d1 = 2 \times \frac{\text{sen } 30}{\text{tg } 26,5} = 2,0 \text{ m} \quad \text{Equação A.6}$$

Entre fileiras consecutivas de painéis devem ser deixados 2 metros de espaçamento.

Ainda, como foi explorado no capítulo 2.5.5, deve-se ter em conta as distâncias mínimas que os painéis devem ter dos limites dos telhados, de acordo com o esquema da figura A.4, segundo a *eurocode1* [50]. Os painéis devem ser instalados dentro da zona verde.

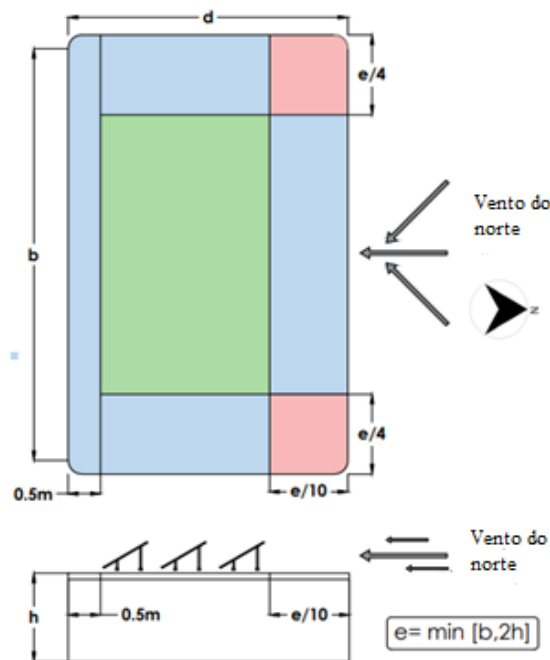


Figura A-4: Distância mínima de segurança dos painéis ao limite dos telhados (Adaptado de [50])

Tendo em conta o vento proveniente da direção do norte e sabendo a altura dos edifícios (h) (15 metros para a residência Bencanta ($e=14\text{m}$) e 12 metros para a residência da Quinta da Nora ($e=24\text{m}$)), é possível calcular a distância mínima que os painéis devem ter dos limites dos telhados.

Assim nas figuras A.5 e A.6 (figuras que não estão à escala) está representada a área total disponível para a instalação dos painéis, área definida pela linha verde. As linhas vermelhas representam a área restringida pelos obstáculos e a azul a área restringida devido à distância mínima de segurança até ao limite do telhado.

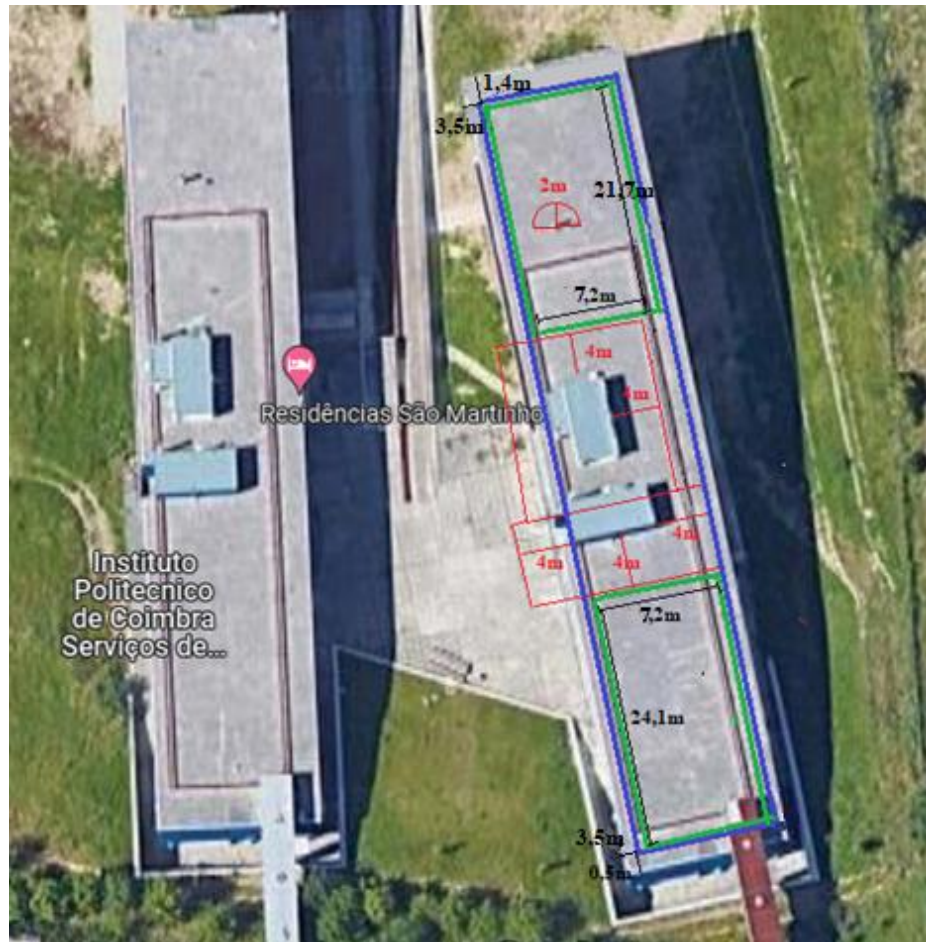


Figura A-5: Área total disponível para instalação dos painéis na residência de Bencanta.

A área total disponível para a instalação no caso de um edifício da residência de Bencanta é aproximadamente dada por:

$$A_{R1} = 21,7 \times 7,2 - \frac{\pi \times 2^2}{2} + 24,1 \times 7,2 \approx 323 \text{ m}^2 \quad \text{Equação A.7}$$

Nota: A área de obstrução da chaminé foi considerada apenas meio círculo virado para norte, uma vez que, tendo em conta a posição do edifício a sul, esta é a única área suscetível a sombras ao longo do dia.



Figura A-6: Área total disponível para instalação dos painéis na residência de Quinta da Nora

A área total disponível para a instalação no caso de um edifício da residência de Bencanta é aproximadamente dada por:

$$A_{R2} = 20 \times 4 \approx 80 \text{ m}^2 \quad \text{Equação A.8}$$

Nota: Não foi considerada a área de obstrução das UTAs a sul das mesmas porque os painéis serão instalados virados para sul, ou seja, a sua parte de trás estará virada para as UTAs. Assim, a parte frontal dos painéis e consequentemente a sua produção não é afetada pelo sombreamento.

Anexo B. Análise dos consumos energéticos**Anexo B.1. Gás natural**

Na tabela B.1 e B.2 pode consultar-se os consumos globais de gás natural em 2019, na residência Bencanta e Quinta da Nora.

Tabela B-1: Consumo global de gás natural na residência Bencanta

Mês	Data	Consumo (kWh)
Janeiro	01-01-2019 a 31-01-2019	102798
Fevereiro	01-02-2019 a 28-02-2019	80781
Março	01-03-2019 a 31-03-2019	74167
Abril	01-04-2019 a 29-04-2019	52363
Maiο	30-04-2019 a 29-05-2019	23829
Junho	30-05-2019 a 27-06-2019	27043
Julho	28-06-2019 a 30-07-2019	22020
Agosto	31-07-2019 a 29-08-2019	15701
Setembro	30-08-2019 a 27-09-2019	20398
Outubro	28-09-2019 a 30-10-2019	27160
Novembro	31-10-2019 a 26-11-2019	59381
Dezembro	27-11-2019 a 31-12-2019	114529

Tabela B-2: Consumo global de gás natural na residência Quinta da Nora

Mês	Data	Consumo (kWh)
Janeiro	01-01-2019 a 28-01-2019	67060
Fevereiro	29-01-2019 a 26-02-2019	62102
Março	27-02-2019 a 31-03-2019	48941
Abril	01-04-2019 a 27-04-2019	48266
Maiο	28-04-2019 a 28-05-2019	25957
Junho	29-05-2019 a 27-06-2019	29761
Julho	28-06-2019 a 25-07-2019	24006
Agosto	26-07-2019 a 28-08-2019	23386
Setembro	29-08-2019 a 26-09-2019	29282
Outubro	27-09-2019 a 27-10-2019	43512
Novembro	29-10-2019 a 27-11-2019	60390
Dezembro	28-11-2019 a 29-12-2019	75109

- Exemplo de cálculo para estimar o consumo de gás natural em AQS a partir do consumo global no mês de abril na residência Bencanta

$$M_{AQS} = 55 \times n \times f_{eh} = 55 \times 204 \times 0,9 \times 1 = 10098 \text{ L/dia}$$

Em que 55 corresponde ao consumo médio de referência consultado na tabela para um lar de estudantes, o número de estudantes é afetado pela taxa de lotação em abril (0,9), e o fator de eficiência hídrica foi considerado 1 por falta de informação sobre esse valor.

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3600000} = \frac{10098 \times 4187 \times (60 - 10) \times 365}{3600000 \times 12}$$

$$= 17861,48 \text{ kWh}$$

A temperatura da água da rede foi considerada igual à temperatura média da água em Coimbra no mês de abril (10°C), consultada no gráfico 3.5, e o consumo diário de referência 60°C, de acordo com a tabela 2.4.

Efetuada o mesmo cálculo para os restantes meses e no caso da residência Quinta da Nora, determina-se o consumo de gás natural estimado em AQS em 2019 para as duas residências. Na tabela B.3 encontram-se os consumos de gás natural estimados em AQS, bem como a percentagem correspondente à utilização de gás natural em AQS relativamente à global.

Tabela B-3: Consumo de gás natural estimado em AQS e percentagem de utilização de gás natural para AQS

Mês	Bencanta		Quinta da Nora	
	Consumo estimado em AQS (kWh)	% GN para AQS	Consumo estimado em AQS (kWh)	% GN para AQS
Janeiro	16829,48	16,37	11879,64	17,71
Fevereiro	16511,95	20,44	11655,49	18,77
Março	20044,55	27,03	14149,09	28,91
Abril	17861,48	34,11	12608,10	26,12
Maio	19052,25	79,95	13448,64	51,81
Junho	14606,72	54,01	10310,63	34,64
Julho	10716,89	48,67	7564,86	31,51
Agosto	3532,60	22,50	2493,60	10,66
Setembro	10955,04	53,71	7732,97	26,41
Outubro	19052,25	70,15	13448,64	30,91

Novembro	20243,01	34,09	14289,18	23,66
Dezembro	16670,71	14,56	11767,56	15,67
	Média	39,63	Média	26,40

Anexo B.2. Eletricidade

Recorrendo às faturas fornecidas pelo cliente, representaram-se os consumos na tabela B.4 divididos em consumo de ponta e consumo de cheia.

Tabela B-4: Consumos de eletricidade em horas de ponta e cheia

Mês	Bencanta		Quinta da Nora	
	Consumo Ponta (kWh)	Consumo Cheia (kWh)	Consumo Ponta (kWh)	Consumo Cheia (kWh)
Janeiro	2352	5445	3008	6452
Fevereiro	2073	4975	2344	5456
Março	1968	4807	2292	6196
Abril	1763	4000	2164	5688
Mai	1767	3901	2188	5696
Junho	1711	3722	1976	5096
Julho	1620	3663	1920	4896
Agosto	1024	2541	1456	3672
Setembro	1597	3444	1068	2540
Outubro	2198	4653	1260	3008
Novembro	2350	5862	1328	3296
Dezembro	2239	5484	1120	2612

Em seguida, recorrendo à equação 2.7 do capítulo 2.5.2 é possível calcular a potência média correspondente aos consumos das figuras acima. Por exemplo, para o mês de abril, na residência Bencanta:

$$P_{média} = \frac{1763}{4 \times 30} \times \frac{4}{(4+10)} + \frac{4000}{10 \times 30} \times \frac{10}{(4+10)} = 13,72 \text{ kW}$$

Efetuada o mesmo cálculo para os restantes meses e no caso da residência Quinta da Nora, determina-se a potência média mensal em 2019 para as duas residências, presentes na tabela B.5.

Tabela B-5: Potência média mensal

Mês	Potência média (kW)	
	Bencanta	Quinta da Nora
Janeiro	17,97	21,80
Fevereiro	17,98	19,90
Março	15,61	19,56
Abril	13,72	18,70
Maio	13,06	18,17
Junho	12,94	16,84
Julho	12,17	15,71
Agosto	8,21	11,82
Setembro	11,24	8,59
Outubro	15,79	9,83
Novembro	19,55	11,01
Dezembro	17,79	8,60
Média	14,67	15,04

Anexo C. Dimensionamento

Anexo C1. Vertente térmica

- Exemplo de cálculo do número de painéis híbridos necessários para cobrir as necessidades térmicas da residência de Bencanta no período entre o mês de Abril e Setembro (exceto Agosto)

O consumo médio estimado em gás natural para AQS neste período é 14638,5 kWh, como se pode confirmar recorrendo à tabela B.3. Sabendo que um painel híbrido apresenta uma potência nominal térmica de 1372 W é possível calcular quanto ele é capaz de produzir mensalmente, se o fizer sempre na potência máxima. Devem ainda ser contabilizadas as perdas de energia na instalação (20%).

$$\text{Produção mensal} = 1372 \times 10^{-3} \times 9 \times 30 \times 0,8 \sim 300,3 \text{ kWh}$$

Avaliando as horas de sol disponíveis em cada mês do ano, considerou-se que o painel produz, em média, 9 horas por dia nos meses de verão e 5 horas por dia nos meses de inverno.

Relacionando a produção térmica que um só painel é capaz de proporcionar com os consumos, estima-se o número de painéis que se devem instalar para cobrir as necessidades térmicas da residência Bencanta no período dos meses de verão.

$$NT = \frac{14638,5}{300,3} \sim 49$$

Efetuando o mesmo cálculo para a residência de Quinta da Nora, são necessários 35 painéis híbridos para suprir as necessidades térmicas.

Anexo C.2. Vertente elétrica

- Exemplo de cálculo do número de painéis híbridos necessários para cobrir as necessidades elétricas da residência de Bencanta no período entre o mês de Abril e Setembro (exceto Agosto)

A potência média neste período foi 12,6 kW. Relacionando a potência nominal fotovoltaica de um painel híbrido, 350 W, com a potência média estima-se o número de painéis que se devem instalar para cobrir as necessidades elétricas neste período. Contabilizaram-se novamente as perdas de energia no painel no valor de 20%.

$$NE = \frac{12,6 \times 1,2}{0,35} \sim 44$$

Ou seja, são necessários 44 painéis híbridos para abranger as necessidades elétricas da residência Bencanta, neste período. Efetuando o mesmo cálculo para a residência de Quinta da Nora, são necessários 54 painéis híbridos para suprir as necessidades elétricas, neste período.

Anexo C.3. Potência a instalar

Recorrendo às potências médias calculadas nos meses de verão, presentes na tabela B.2, e considerando 20% de perdas de energia no painel:

- Bencanta

$$P_{instalar} = \frac{(13,7+13,1+12,9+12,2+11,2) \times 1,2}{5} = 15 \text{ kW}$$

- Quinta da Nora

$$P_{instalar} = \frac{(18,7+18,1+16,8+15,7+8,9) \times 1,2}{5} = 18 \text{ kW}$$

Anexo C.4. Sumário dos resultados do dimensionamento pelo *software Abora Solar*

Tabela C-1: Sumário dos resultados devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Quinta da Nora (52 PVT)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Produção de Energia Térmica													
Necessidades térmicas (kWh)	11880	11656	14149	12608	13449	10311	7565	2494	7733	13449	14289	11768	131351
Produção total (kWh)	5271	5533	7337	8044	9105	8618	7929	3491	7336	6597	5651	4509	79421
Perdas (kWh)	211	221	293	322	364	345	330	145	293	264	226	180	3196
Produção térmica (kWh)	5060	5312	7044	7722	8741	8273	7599	3346	7042	6333	5425	4329	75339
Produção útil (kWh)	5060	5312	7044	7722	8741	8273	7565	2494	7042	6333	5425	4329	75339
Cobertura solar térmica (%)	43	46	50	61	65	80	105	140	91	47	38	37	57
Produção Energia Elétrica													
Necessidades elétricas (kWh)	9460	7800	8488	7852	7884	7072	6816	5128	3608	4268	4624	3732	76732
Produção útil (kWh)	1227	1283	1754	2003	2565	2565	3002	2665	2251	1597	1175	1180	23268
Cobertura solar elétrica (%)	13	16	21	26	33	36	44	52	62	37	25	32	30
Potência instalada (kW)	18												

Tabela C-2: Sumário dos resultados devolvidos pela ferramenta de simulação para a residência Bencanta (44 PVT)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Produção de Energia Térmica													
Necessidades térmicas (kWh)	16830	16512	20045	17862	19052	14607	10717	3533	10955	19052	20243	16671	186078
Produção total (kWh)	4739	4991	6652	7431	8461	8273	8523	4406	7269	5963	5038	4023	75768
Perdas (kWh)	190	200	266	297	338	331	341	184	291	239	202	161	3038
Produção térmica (kWh)	4549	4791	6386	7133	8123	7942	8182	4222	6978	5724	4836	3862	72040
Produção útil (kWh)	4549	4791	6386	7133	8123	7942	8182	3533	6978	5724	4836	3862	71351
Cobertura solar térmica (%)	27	29	32	40	43	54	76	120	64	30	24	23	39
Produção Energia Elétrica													
Necessidades elétricas (kWh)	7797	7048	6775	5763	5668	5433	5283	3565	5041	6851	8212	7723	75159
Produção útil (kWh)	1038	1086	1484	1695	2170	2170	2540	2255	1905	1352	995	998	19688
Cobertura solar elétrica (%)	13	15	22	29	38	40	48	63	38	20	12	13	26
Potência instalada (kW)	15												

Anexo D. Dimensionamento dos depósitos

- Exemplo de cálculo do volume de água aquecido, num dia do mês de Abril, por edifício na residência Quinta da Nora

A produção térmica útil no mês de Abril na Quinta da Nora foi 7722 kWh, como se pode consultar na tabela C.1, ou seja 1930 kWh em cada edifício. Recorrendo à equação 2.10:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3600000} \leftrightarrow M_{AQS} = \frac{1930 \times 3600000 \times 12}{(60-10) \times 365 \times 4} = 1091 \text{ L/dia}$$

A temperatura da água da rede foi considerada igual à temperatura média da água em Coimbra no mês de abril (10°C), consultada no gráfico 3.4, e o consumo diário de referência 60°C, de acordo com a tabela 2.4.

Assim no mês de Abril estima-se que sejam produzidos cerca de 1091 litros de água quente por dia, em cada um dos edifícios da residência Quinta da Nora. Realizando o mesmo cálculo para os restantes meses e para a residência Bencanta, os resultados apresentam-se na tabela D.1 e D.2.

Nas tabelas, assinalado a vermelho, estão as produções estimadas mais altas.

Tabela D-1: Volume de água quente produzida diariamente por edifício na Quinta da Nora

	Residência Quinta da Nora											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Produção útil (kWh/mês)	1265	1328	1761	1930	2185	2068	1891	623	1760	1583	1356	1082
M_{AQS} (L/dia)	715	751	996	1091	1235	1169	1069	352	995	895	767	612

Tabela D-2: Volume de água quente produzida diariamente por edifício na Quinta da Nora

	Residência Bencanta											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Produção útil (kWh/mês)	2274	2395	3193	3566	4061	3971	4091	1766	3489	2862	2418	1931
M_{AQS} (L/dia)	1286	1354	1805	2016	2296	2245	2313	999	1973	1618	1367	1092

- Exemplo de cálculo do dimensionamento da serpentina na Quinta da Nora

Para determinar a área de superfície da serpentina recorre-se à equação geral de transferência de calor, equação D.1.

$$Q = A \times U \times \Delta T \quad \text{Equação D.1}$$

em que:

Q – taxa de calor transferido (W);

A – área de transferência de calor (m²)

U – coeficiente global de transferência de calor (1000 W/(m².°C) para água quente [51]);

ΔT – diferença de temperatura entre a água do depósito e o fluido térmico proveniente dos painéis (°C).

Relativamente à taxa de calor transferido, a serpentina será dimensionada para a potência térmica nominal da instalação, garantindo assim que em condições de máxima produção todo o calor é transferido para a água do depósito. Assim, existindo 13 painéis em cada edifício da residência Quinta da Nora, Q é igual a 17 836 W (1372 ×13).

A água do depósito é proveniente da rede pública, que geralmente se encontra a cerca de 20 °C. Pode considerar-se que fluido térmico aquecido nos painéis chega ao depósito a cerca de 50 °C.

No entanto a água do depósito vai sendo aquecida ao longo do dia, e consequentemente a diferença de temperatura para com o fluido térmico diminui, podendo até aproximar-se de 0 °C. Nesta situação a transferência de calor oferece maior resistência, sendo necessário uma serpentina maior. Assim, o dimensionamento será efetuado para uma temperatura da água do depósito de 45 °C.

A partir destas considerações é possível calcular a área de superfície que a serpentina deve ter:

$$A = \frac{17\,836}{1000 \times (50 - 45)} = 3,6 \text{ m}^2$$

As serpentinas para fazer a troca de calor nos depósitos na Quinta da Nora devem ter $3,6 \text{ m}^2$. Repetindo o cálculo para a residência Bencanta, a área das serpentinas deve ser $6,0 \text{ m}^2$.