



isec
Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA
ELETROMECAÂNICA

**Sistema de Produção de Águas Quentes
Sanitárias com Painéis Solares
Fotovoltaicos**

DEFINITIVO

Autora

Dircy Michella da Conceição Machava

Orientador

Anabela Duarte de Carvalho

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, fevereiro de 2021



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Sistema de Produção de Águas Quentes Sanitárias com Painéis Solares Fotovoltaicos

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do
grau de Mestre em Engenharia Eletromecânica

Autora

Dircy Michella da Conceição Machava

Orientador

Anabela Duarte de Carvalho

Supervisor na empresa CTCV – Centro Tecnológico da Cerâmica e do
Vidro

Eng.º Pedro Miguel Cardoso

Coimbra, fevereiro de 2021

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer ao Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV) pela oportunidade que me concedeu de poder realizar o meu estágio curricular nas suas instalações, onde me foram transmitidos muitos conhecimentos.

A concretização deste trabalho deve-se à grande contribuição dos meus orientadores: Professora Anabela Carvalho e ao Engenheiro Pedro Cardoso que forneceram todas as ferramentas necessárias para a realização deste trabalho.

Devo o meu muitíssimo obrigado aos meus pais Loiro e Filomena, e aos meus queridos Énnio, Nancy e Bruno por todo apoio prestado ao longo deste percurso académico.

RESUMO

A crescente preocupação pela emissão dos Gases de Efeito Estufa e consequente aquecimento global, e o aumento da população mundial, obrigou a uma diversificação dos recursos energéticos de modo a reduzir o impacto ambiental resultante das atividades que necessitam de recursos energéticos (indústria, transportes, setor residencial, serviços, etc.).

Em Portugal, o setor dos edifícios (residencial e serviços) é responsável pelo consumo de cerca de 30% da energia produzida. Os edifícios residências representam cerca de 17% do consumo final de energia (DGEG, 2018), sendo os principais consumos referentes às Águas Quentes Sanitárias (AQS) e aos sistemas de climatização.

No âmbito do Mestrado em Engenharia Eletromecânica – Especialização em Instalações e Equipamentos em Edifícios, a aluna optou pela realização de um estágio curricular no Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), onde lhe foi proposto o desenvolvimento de um projeto que consiste em um sistema alternativo de produção de Águas Quentes Sanitárias com painéis fotovoltaicos (FV).

O projeto teve como objetivo o estudo de uma instalação experimental para avaliar a viabilidade da aplicação de um sistema de aquecimento de água elétrico para uso doméstico, com recurso a painéis fotovoltaicos de ligação direta em tensão e corrente contínua (CC) ao reservatório de água, sem recurso a inversores de corrente que é um equipamento utilizado nos sistemas convencionais FV, o que torna esta instalação menos dispendiosa.

Com base nos resultados obtidos durante os ensaios, foi possível determinar que pelo menos 30% da energia consumida para AQS poderia ser fornecida pelo sistema FV, e que do ponto de vista económico é um sistema viável, tendo apresentado tempos de retorno bastante favoráveis para a maioria dos cenários estudados.

Palavras-Chave: Edifícios, Energias Renováveis, Energia Solar Fotovoltaica, Sistema de produção Águas Quentes Sanitárias.

ABSTRACT

The growing concern about the emission of greenhouse gases and consequent global warming, and the increase in the world population, forced the diversification of energy resources to reduce the environmental impact resulting from activities that require energy resources (industry, transport, residential sector, services, etc.).

In Portugal, the buildings sector (residential and services) is responsible for the consumption of around 30% of the energy produced. Residential buildings represent about 17% of final energy consumption (DGEG, 2018), with Domestic Hot Water (DHW) and air conditioning systems being one of the main consumptions.

Within the scope of the Master in Electromechanical Engineering - Specialization in Installations and Equipment in Buildings, the student opted for a curricular internship at the Technological Center for Ceramics and Glass (CTCV), where she was proposed to develop a project that consists of an alternative system to produce Hot Sanitary Waters with photovoltaic panels (PV).

The project aimed to study an experimental installation to evaluate the feasibility of applying an electric water heating system for domestic use, using direct voltage and direct current (DC) photovoltaic panels to the water reservoir, without the use of current inverters, which is used in conventional PV systems, which makes this installation less expensive.

Based on the results obtained during the tests, it was possible to determine that at least 30% of the energy consumed for DHW could be supplied by the PV system, and that from an economic point of view it is a viable system having presented very favorable return times for most of the studied scenarios.

Keywords: Buildings, Renewable Energies, Photovoltaic Solar Energy, Domestic Hot Water Production System.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE QUADROS	viii
SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos do estágio.....	2
1.2. Estrutura do relatório.....	2
2. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO	5
3. ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS EM EDIFÍCIOS.....	7
3.1. O consumo de AQS nos edifícios	7
3.2. Tecnologias para aquecimento de AQS	8
3.3. Enquadramento legislativo.....	10
3.3.1. Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)	11
3.3.2. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)	11
3.3.3. Contribuição dos sistemas de aproveitamento de energias renováveis.....	12
3.3. Perfil de consumo	14
4. TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	15
4.1. A Energia Solar.....	15
4.2. Energia Solar Fotovoltaica	17
4.2.1. Efeito Fotovoltaico	17
4.2.2. Tipos de células Fotovoltaicas	17
4.2.3. Painel Fotovoltaico	19
5. DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL E METODOLOGIA.....	23
5.1. Descrição da instalação experimental	23
5.2. Metodologia	29
5.2.1. Seleção do perfil de consumo	29
5.2.2. Seleção dos momentos e duração das retiradas de água.....	29
5.2.3. Caudal	29
5.2.4. Temperatura.....	30
5.2.5. Tarifa de eletricidade.....	31
6. RECOLHA E ANÁLISE DOS DADOS DE CONSUMO SEM MÓDULOS FV	33

6.1.	Dados do consumo da água quente.....	33
6.1.1.	Perfil M	33
6.1.2.	Perfil L	35
6.2.	Análise energética.....	36
6.2.1.	Perfil M	36
6.2.2.	Perfil L	38
6.3.	Análise económica	39
6.3.1.	Perfil M	40
6.3.2.	Perfil L	41
7.	RECOLHA E ANÁLISE DOS DADOS DE CONSUMO COM MÓDULOS FV	43
7.1.	Evolução da temperatura da água em função da radiação	43
7.1.1.	Dados do Perfil M - Uma Pessoa.....	43
7.1.2.	Dados do Perfil M - Duas Pessoas.....	45
7.1.3.	Dados do Perfil L	45
7.1.4.	Dados com o céu nublado	46
7.2.	Análise da energia e da potência do sistema solar FV	47
7.2.1.	Dados de energia e da potência com 6 painéis fotovoltaicos	47
7.2.2.	Dados de energia e da potência com 4 painéis fotovoltaicos	52
7.3.	Notas conclusivas.....	53
8.	ANÁLISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA.....	55
8.1.	Análise energética.....	55
8.1.1.	Perfil M	55
8.1.2.	Perfil L	57
8.2.	Análise económica	58
8.2.1.	Análise económica sem aquisição do reservatório	59
8.2.2.	Análise económica com aquisição do reservatório	61
9.	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
9.1.	Conclusão.....	63
9.2.	Sugestões para trabalhos futuros.....	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	ANEXO A - Especificações técnicas gerais do reservatório de água.....	71
	ANEXO B – Especificações gerais dos painéis fotovoltaicos	73
	ANEXO C – Tensão e corrente máximas do modulo da unidade Agilent 34970A	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Logotipo do CTCV	5
Figura 2 - Local de estágio – CTCV Solar Nano	6
Figura 3 - Consumo de energia no setor residencial UE 2015	7
Figura 4 - Consumo de energia residencial em Portugal	8
Figura 5 - Bomba de calor a), Caldeira mural b) e Esquentador c)	9
Figura 6 - a) Coletores solares térmicos, b) Caldeira de combustão, c) termoacumulador elétrico	9
Figura 7 - Distribuição dos aparelhos de produção de AQS.....	10
Figura 8 - Exemplo de certificado energético de um edifício de habitação.....	13
Figura 9 - Radiação solar incidente	15
Figura 10 - Equinócios da terra ao longo do ano	16
Figura 11 - Radiação horizontal incidente na terra	16
Figura 12 - Camadas p-n da célula FV	17
Figura 13 - Tipos de células: monocristalina, policristalina e amorfa, respetivamente.....	18
Figura 14 - Composição de um painel Fotovoltaico	19
Figura 15 - Influência da temperatura na eficiência da célula FV.....	20
Figura 16 - Curva I x V para variação de irradiação	20
Figura 17 - Curvas I-V e V-P	21
Figura 18 - Esquema de montagem do sistema Fotovoltaico	22
Figura 19 - Esquema da instalação.....	24
Figura 20 - Ligações do reservatório de água	25
Figura 21 - Localização do sensor de temperatura da água da entrada	26
Figura 22 - Sensor de temperatura PT100	26
Figura 23 - Localização do manómetro	26
Figura 24 - Equipamento de aquisição de dados (à esquerda) e Mangueiras de saída da água (à direita).....	27
Figura 25 - Analisador de energia	27
Figura 26 - Agilent 34970A	28
Figura 27 - Layout do programa Benchlink Data_Logger3.....	28
Figura 28 - Resistência Shunt	29
Figura 29 - Desenvolvimento da legionella de acordo com a temperatura.....	31
Figura 30 - Potências contratadas.....	31
Figura 31 - Preço do kWh	32
Figura 32 - Tarifa bi-horária com ciclo diário (ERSE, 2018)	32
Figura 33 - Diagrama da temperatura da água em função do tempo para 1 pessoa (perfil M)	33
Figura 34 - Temperatura da Água quente e Água da rede (20 de fevereiro de 2020)	34
Figura 35 - Diagrama da temperatura da água em função do tempo para 2 pessoas (perfil M)	34
Figura 36 - Diagrama da temperatura da água em função do tempo para 3 pessoas (perfil L)	35
Figura 37 - Gráfico Energia x Temperatura 1 pessoa	36
Figura 38 - Gráfico Energia x Temperatura 2 pessoas.....	37
Figura 39 - Diagrama Energia x Temperatura	38
Figura 40 - Gráfico Radiação x Água quente 1 pessoa	43
Figura 41 - Gráfico Radiação x Água quente - 4 Painéis.....	44
Figura 42 - Gráfico Radiação x Água quente 2 pessoas.....	45
Figura 43 - Gráfico Radiação x Água quente 3 pessoas.....	46
Figura 44 - Evolução da temperatura em função da radiação com céu nublado	46
Figura 45 - Energia FV produzida nos dias de ensaios	47

Figura 46 - Energia FV produzida entre as retiradas	48
Figura 47 - Gráfico Radiação x Potência, dia de produção energia FV máxima	48
Figura 48 - Gráfico Radiação x Potência, dia de produção energia FV média.....	49
Figura 49 - Gráfico Radiação x Potência, dia de produção energia FV mínima	49
Figura 50 - Comparação entre a potência da rede e a fornecida pelo FV.....	50
Figura 51 - Gráfico Potência x Radiação com céu nublado	51
Figura 52 - Energia FV em dias nublados	52
Figura 53 - Energia FV fornecida por dia, com 4 painéis.....	53

ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 1 - Intervalos de valores para as classes energéticas (Despacho n.º 15793-J/2013)	13
Tabela 2 - perfis de carga das necessidades de AQS em litros.....	14
Tabela 3 - perfis de carga das necessidades de AQS em kWh	14
Tabela 4 - Valores para caudal de água quente da norma EN 12987:2016.....	30
Tabela 5 - tempo e momentos de retirada e caudal de saída da água	30
Tabela 6 - Consumo de energia diário e semanal 1 pessoa	37
Tabela 7 - Consumo de energia diário e semanal 2 pessoas.....	38
Tabela 8 - Consumo de energia diário e semanal para 3 pessoas (perfil L)	39
Tabela 9 – Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 1 pessoa (Tarifa simples)	40
Tabela 10 - Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 1 pessoa (Tarifa bi-horária)	40
Tabela 11 - Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 2 pessoas (Tarifa simples)	41
Tabela 12 - Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 2 pessoas (Tarifa bi-horária).....	41
Tabela 13 - Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 3 pessoas (Tarifa simples)	41
Tabela 14 - Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 3 pessoas (Tarifa bi-horária).....	42
Tabela 15 - Valores médios de corrente, tensão, radiação e potencia com céu limpo	50
Tabela 16 - Valores médios de corrente, tensão, radiação e potencia com 4 painéis.....	52
Tabela 17 - Consumo de energia - 1 pessoa.....	56
Tabela 18 - Consumo de energia - 2 pessoas	56
Tabela 19 - Consumo de energia – 1 pessoa com 4 painéis.....	57
Tabela 20 - Consumo de energia - 3 pessoas	57
Tabela 21 - Custos do investimento do sistema	58
Tabela 22 - Preço das tarifas de energia	59
Tabela 23 - Payback com tarifa simples	60
Tabela 24 - Payback com tarifa bi-horária	60
Tabela 25 - VAL e TIR para 6 painéis - tarifa simples.....	60
Tabela 26 - VAL e TIR para 6 painéis - tarifa bi-horária	60
Tabela 27 - VAL e TIR para 4 painéis - tarifa simples e bi-horária.....	61
Tabela 28 - Payback com tarifa simples e custo do reservatório.....	61
Tabela 29 - Payback com tarifa bi-horária e custo do reservatório	61
Tabela 30 - VAL e TIR com reservatório para 6 painéis - tarifa simples.....	62
Tabela 31 - VAL e TIR com reservatório para 6 painéis - tarifa bi-horária	62
Tabela 32 - VAL e TIR com reservatório para 4 painéis - tarifa bi-horária e simples	62

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

AIE – Agência Internacional da Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

B – Boro

BTN – Baixa Tensão Normal

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Continua

CEN – Comité Europeu de Normalização

CTCV – Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

DDP – Diferença De Potencial

DGEG – Direção Geral da Energia e Geologia

EVA – Etil-Vinil-Acetileno

FV – Fotovoltaico

GEE – Gases de Efeito Estufa

IDI – Investigação, Desenvolvimento e Inovação

IDT – Investigação, Desenvolvimento e Tecnologia

IPAC – Instituto Português de Acreditação

IPQ – Instituto Português da Qualidade

ISO – *International Organization for Standardization*

IVA – Imposto sobre Valor Acrescentado

NP – Norma Portuguesa

P – Fósforo

ONU – Organização das Nações Unidas

SCT – Sistema Científico e Tecnológico

Si – Silício

UV – Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos existe um aumento da preocupação com a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE), que são uns dos principais causadores do fenómeno do aquecimento global, gases estes que resultam das atividades industriais praticadas pelo homem, como a produção de energia. O aumento da população mundial aumenta a necessidade de produção de energia para a realização de atividades e, segundo a Organização das Nações Unidas, ONU, estima-se um aumento da população em 2 bilhões até 2050. Deste modo, surge uma necessidade de diversificação dos recursos energéticos para reduzir o impacto ambiental e em simultâneo fazer com que toda população mundial tenha acesso a energia para a realização das suas atividades diárias.

Face a este problema e atendendo a uma forte dependência energética da União Europeia (UE) em cerca de 50%, a UE tem vindo a definir um conjunto de metas energéticas e ambientais. As últimas metas definidas são para o horizonte de 2030, nomeadamente: 32% do consumo final bruto de energia deve ser de origem renovável, 32,5% de redução do consumo de energia primária (aumento da eficiência energética), 40% de redução das emissões de GEE relativamente aos níveis de emissões de 1990 (PNEC, 2018). Estas metas foram definidas com o objetivo de limitar a subida da temperatura global do planeta em menos de 2°C e a criação de fluxos financeiros menos dependentes dos combustíveis fósseis (REA, 2020). O empenho neste compromisso reflete-se nos relatórios disponibilizados pela Agência Internacional da Energia (AIE) e pela Eurostat, onde se apresenta uma evolução positiva no uso das energias renováveis. Portugal enquanto estado membro da UE, comprometeu-se a ter uma contribuição energias renováveis de 47% no consumo final de energia, com uma contribuição de 80% para a produção de eletricidade e de 38% para o setor de aquecimento e arrefecimento, a reduzir as emissões dos GEE em 50% face aos níveis de 2005 e aumentar a eficiência energética em 35% até 2030 (ONU, 2020) (PNEC, 2018).

Em Portugal 30% da energia produzida é consumida pelo setor dos edifícios (residencial e serviços). Os edifícios residências representam cerca de 17% do consumo final de energia (DGEG, 2018), sendo os principais consumos referentes às Águas Quentes Sanitárias (AQS) e aos sistemas de climatização, tornando-se assim importante o estudo de sistemas de aproveitamento de energias renováveis para estes fins.

Com a motivação de poder dar algum contributo na área das energias renováveis, decidiu-se realizar um estágio curricular no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletromecânica (MEEM). O estágio realizou-se no Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV) que é uma entidade que se dedica a prestação de serviços, como ensaios e análises de tecnologias, incluindo tecnologias com aproveitamento de energias renováveis (Capítulo 2).

Atendendo que esta entidade é de prestação de serviços, o estágio consistiu essencialmente no estudo de uma instalação com aproveitamento de energias renováveis para AQS, como apresentado de seguida na descrição dos objetivos do trabalho.

1.1. Objetivos do estágio

Este trabalho tem como objetivo o estudo de uma instalação experimental para avaliar a viabilidade da aplicação de um sistema de aquecimento de água elétrico para uso doméstico, com recurso a painéis fotovoltaicos (FV) de ligação direta em tensão e corrente contínua (CC) ao reservatório de água, sem o uso de inversores de corrente que é um equipamento utilizado nos sistemas convencionais FV, o que torna esta instalação menos dispendiosa.

Para tal, foram fixados os seguintes objetivos:

- Conhecer as Normas de ensaio de reservatórios de água.
- Conhecer a legislação portuguesa em vigor relativa a utilização de energias renováveis em edifícios.
- Desenvolvimento do protótipo de ensaio.
- Monitorização de consumos de energia em diferentes perfis de consumo com alimentação da rede elétrica e com o uso de painéis fotovoltaicos.
- Recolha e análise dos dados de consumo nas duas situações.
- Análise da viabilidade do sistema.

1.2. Estrutura do relatório

Este relatório é composto por 8 capítulos para além do capítulo da introdução. No capítulo 2 faz-se a descrição do local de estágio apresentando-se as várias áreas de intervenção da empresa.

O capítulo 3 faz uma análise do estado do consumo de AQS nos edifícios a nível europeu e no território português, apresenta as tecnologias atualmente utilizadas para o aquecimento de água. Ainda no capítulo 3, é feita a exposição da legislação em vigor Portugal no que diz respeito as energias renováveis em edifícios e certificação energética dos edifícios, fazendo-se também menção aos perfis de consumo água quente existentes em termos de quantidade de energia consumida (kWh) e de consumo de água quente em litros por tipo de perfil.

No capítulo 4, faz-se a exposição dos conceitos teóricos relativos a energia solar, efeito fotovoltaico e tipos de painéis FV.

De seguida, no capítulo 5, faz-se a descrição da instalação experimental, apresentando-se os equipamentos utilizados, a metodologia usada para a montagem da instalação e os pressupostos que se teve em consideração para a recolha e tratamentos dos dados.

No capítulo 6 são apresentados os consumos de água quente para o sistema de produção de AQS alimentado diretamente pela rede elétrica, para os diferentes perfis de consumo selecionados. É também feita uma análise energética e económica com base nas tarifas de eletricidade apresentadas no capítulo 5.

No capítulo 7 são apresentados os resultados do tratamento dos dados recolhidos neste projeto quando o reservatório de água quente está ligado aos módulos fotovoltaicos. São também apresentados os valores de energia diários fornecidos pelos módulos e a quantidade dessa energia que pode ser aproveitada, mencionando-se os valores de radiação e tensão que são necessários para que o aquecimento de água possa ser feito pelos módulos fotovoltaicos. Ainda no capítulo 7, faz-se uma análise da evolução da temperatura da água, e a relação entre a potência fornecida pela rede elétrica e pelos módulos fotovoltaicos.

No capítulo 8, é feita a análise de viabilidade energética onde se analisa a energia elétrica que é consumida e compara-se com a energia que pode ser fornecida pelos módulos fotovoltaicos, observando-se depois a percentagem de energia da rede pública que pode ser poupada.

Neste capítulo é também feita uma análise de viabilidade económica, onde através dos dados que são apresentados nos capítulos 6 e 7, faz-se o cálculo do tempo de retorno do investimento (*payback*), do VAL e da TIR, considerando-se que o tempo de vida útil dos painéis fotovoltaicos é de 25 anos.

Para terminar, no capítulo 9, faz-se a conclusão do trabalho e propostas para trabalhos futuros com base naquilo que se verificou que poderia ser implementado para uma melhor experiência, seguindo-se depois as referências bibliográficas e documentos em anexo.

2. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO

O CTCV – Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro é uma Entidade do Sistema Científico e Tecnológico (SCT) com 30 anos de experiência, certificada pela CERTIF de acordo com a norma NP EN ISO 9001 e com laboratórios acreditados pelo IPAC de acordo com a norma NP EN ISO/IEC 1705, para a realização de análises e ensaios, sendo também um Organismo de Normalização Setorial reconhecido pelo IPQ, com uma participação ativa em Comissões Técnicas de Normalização Nacionais, Europeias (CEN) e Internacionais (ISO).



Figura 1 - Logotipo do CTCV

É composto por uma equipa pluridisciplinar, com uma cultura de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (IDI) orientada para resultados e valorização dos conteúdos de utilidade industrial, oferece aos seus parceiros de negócio um conjunto de soluções integradas que passam pela consultoria especializada e auditoria, formação profissional, medição e ensaio e soluções de Investigação, Desenvolvimento e Tecnologia (IDT). Os seus serviços são orientados para os setores da cerâmica e do vidro e para tudo que engloba a esfera do habitat. A empresa realiza ensaios laboratoriais nas seguintes áreas:

1. **Análise de Materiais:** agregados e inertes, amianto, ar ambiente, vidros e cerâmica, efluentes líquidos e sólidos, resíduos sólidos, betões, cimentos e argamassas.
2. **Monitorização Ambiental:** acústica e vibrações-ruído ambiente, ar ambiente exterior, efluentes gasosos.
3. **Segurança e Higiene Ocupacional:** diagnóstico de materiais contendo amianto, avaliação da exposição a campos eletromagnéticos, fungos e bactérias, conforto térmico, stress térmico em ambientes severos, iluminação em postos de trabalho, vibrações mecânicas transmitidas ao corpo humano, ruído laboratorial, nanopartículas, metais pesados, compostos orgânicos voláteis e outros agentes químicos.

4. **Sistemas de Energia:** ensaios de painéis solares térmicos, FV e outros tipos de equipamentos. Tipicamente são feitos ensaios de carga mecânica com pressões positivas e negativas, choque térmico externo e interno, exposição e pré - exposição, penetração de chuva, pressão interna para canais de fluido, rendimento térmico, resistência a alta temperatura, resistência ao congelamento, resistência ao impacto.
5. **Produtos:** cerâmica, vidro de construção e automóvel, produtos de betão, pedras naturais e reconstruídas, cimento-cola e outros adesivos, argamassas e massas de construção, agregados para betão, argamassas e misturas betuminosas.

O estágio decorreu nas instalações da unidade Solar -Nano, localizadas no iParque, freguesia de Antanhol, Lote 7, Coimbra, entre outubro de 2019 e julho de 2020, com interrupção nos meses de março, abril e maio de 2020, figura 2.



Figura 2 - Local de estágio – CTCV Solar Nano

3. ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS EM EDIFÍCIOS

Neste capítulo é feita uma análise do estado do consumo de energia no setor residencial, apresentando-se os dados do consumo a nível europeu e a nível de Portugal.

De seguida, é feita a apresentação das tecnologias atualmente usadas para o aquecimento de água apresentando-se também a percentagem de uso de cada uma delas.

Posteriormente, é feito o enquadramento legislativo expondo-se quais regulamentos são aplicáveis quando se trata de energias renováveis em edifícios, certificação energética e perfis de consumo.

3.1. O consumo de AQS nos edifícios

O consumo de energia dos edifícios (residencial e serviços) representa cerca de 40% a nível europeu e 30% no caso de Portugal (DGEG, 2020).

Na UE, a nível residencial, grande parte da energia é gasta com equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado - AVAC, tendo uma representação de cerca de 65% no consumo final de energia. O segundo maior consumidor de energia no setor residencial é o processo de aquecimento de água conforme apresentado no diagrama da figura 3.

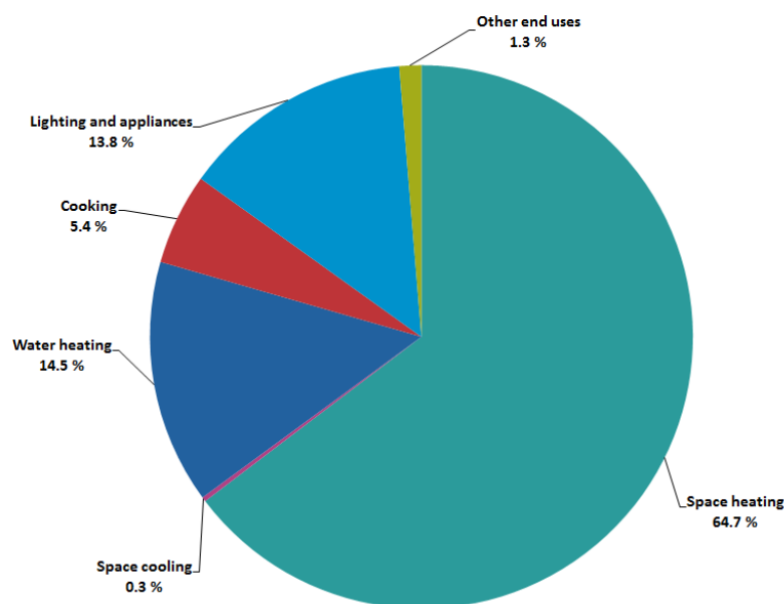


Figura 3 - Consumo de energia no setor residencial UE 2015 (Eurostat, 2020)

Em Portugal, independentemente de existir um sistema de climatização, os principais consumidores de energia são a cozinha e os eletrodomésticos, seguindo-se na lista as AQS, conforme apresentado no quadro da figura 4.



Consumo de gás natural

Habitação	Sem climatização	Com climatização
Climatização Aquecimento	-	23%
Climatização Arrefecimento	-	-
AQS	37%	47%
Cozinha	63%	30%
Equipamentos	-	-
Iluminação	-	-



Consumo de eletricidade

Habitação	Sem climatização	Com climatização
Climatização Aquecimento	-	9%
Climatização Arrefecimento	-	2%
AQS	8%	3%
Cozinha	41%	40%
Equipamentos	35%	33%
Iluminação	16%	13%

Figura 4 - Consumo de energia residencial em Portugal (poupanergia,2020)

No setor residencial como apresentado nas figuras 3 e 4, parte considerável da energia é gasta no aquecimento de água, daí que minimizar os gastos energéticos com esta atividade, introduzindo sistemas com aproveitamento de energias renováveis, pode contribuir para a redução do consumo do setor doméstico e para a redução das emissões de GEE.

3.2. Tecnologias para aquecimento de AQS

Ao longo do tempo, as tecnologias utilizadas para o aquecimento de água têm vindo a evoluir devido as exigências ambientais, económicas e de conforto.

Os equipamentos de aquecimento de AQS podem ser distinguidos de acordo com o seu princípio de funcionamento, em sistemas de produção instantânea e em sistemas de produção para acumulação.

- **Produção instantânea:** esquentadores, algumas caldeiras (tipo murais) ou bombas de calor (aerotérmicas ou geotérmicas), figura 5.

Neste tipo de sistemas, a água fria da rede entra diretamente para o equipamento onde é aquecida de forma instantânea à medida que vai circulando pelo permutador de calor do aparelho. Desta forma, garante-se um fornecimento de água quente sem tempos de espera (ECO.AP, 2019).

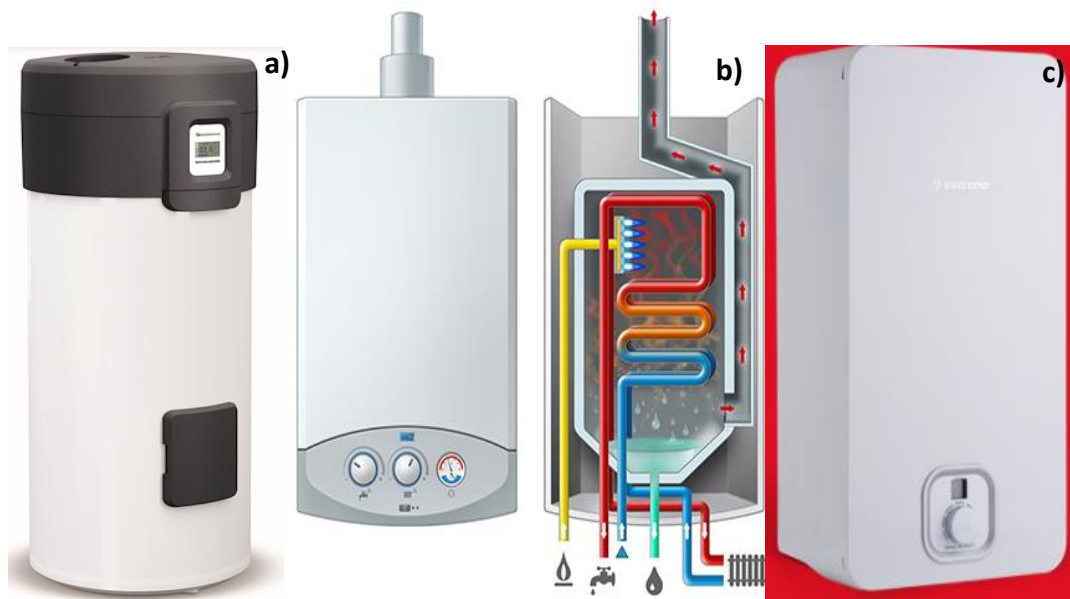


Figura 5 - Bomba de calor a), Caldeira mural b) e Esquentador c) (Vulcano, 2020)

- **Produção para acumulação:** coletores solares térmicos, caldeiras de combustão (gás, gasóleo ou biomassa), sendo a acumulação térmica feita em termoacumuladores, figura 6.

Neste tipo de sistemas a água fria da rede entra no acumulador onde é aquecida através do seu permutador e serpentina. No interior da serpentina, circula água que é aquecida em circuito fechado pela caldeira. Desta forma é garantido o fornecimento simultâneo de AQS em vários pontos de tiragem (ECO.AP, 2019).



Figura 6 - a) Coletores solares térmicos, b) Caldeira de combustão, c) termoacumulador elétrico (Vulcano, 2020)

Quanto às preferências dos aparelhos a usar para o aquecimento das AQS, a nível de Portugal, 46% das pessoas ainda tem preferência pelos esquentadores, 18% pelos termoacumuladores, e 20% opta pelos sistemas solares térmicos, como demonstrado diagrama da figura 7.

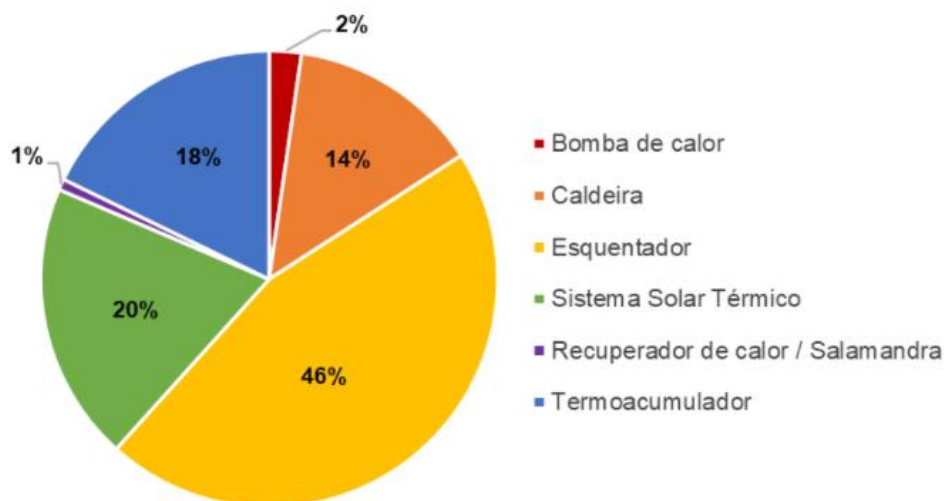


Figura 7 - Distribuição dos aparelhos de produção de AQS (Jornal Económico, 2019)

A quota de termoacumuladores elétricos (18%) a nível nacional, não deve ser desprezada. Por outro lado, existe uma tendência crescente para a eletrificação dos edifícios, ou seja, os equipamentos serem todos elétricos. Nesse sentido, considera-se de grande importância o estudo de sistemas alternativos de AQS com aproveitamento de energias renováveis, como é o caso do sistema estudado durante o estágio curricular.

3.3. Enquadramento legislativo

Considerando que os edifícios são responsáveis pelo consumo de cerca de 40% da energia final na Europa, a União Europeia com o objetivo de melhorar o desempenho energético deste setor que se encontra em expansão, criou a Diretiva 2010/31/EU que promove a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais.

Esta diretiva estabelece também requisitos mínimos de desempenho energético para os edifícios novos e as frações autónomas novas, para os edifícios existentes e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações, e para os elementos construtivos com impacto significativo no desempenho energético e sistemas técnicos dos edifícios. Embora já exista uma nova diretiva para o desempenho energético dos edifícios, a Diretiva 2018/844, que altera a Diretiva anterior, esta ainda não foi transposta para Portugal.

O Decreto-Lei nº 118/2013 transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva acima citada (2010/31/EU) relativa ao desempenho energético dos edifícios que tem como objetivo a promoção e melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

3.3.1. Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)

O certificado do SCE é um documento emitido por um perito no âmbito do SCE que descreve a situação de desempenho energético de um imóvel, onde consta o cálculo dos consumos anuais de energia previstos e qualifica a qualidade do ar interior de um edifício ou fração autónoma, classificando-os em função do seu desempenho energético numa escala de 8 classes, de A+ a F, sendo que para edifícios novos a classificação mínima exigida é B-. São objetivos do certificado energético de um edifício os seguintes:

- Informar aos consumidores sobre a qualidade térmica do imóvel;
- Recomendar medidas com viabilidade económica que possam conduzir à melhoria do desempenho energético dos edifícios;
- Promover as reabilitações dos edifícios antigos com vista a melhoria da sua eficiência energética;
- Garantir que os edifícios cumprem a legislação de eficiência energética em vigor;

3.3.2. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)

O REH estabelece os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e as metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, com os seguintes objetivos:

- Promoção da melhoria do comportamento térmico.
- Promoção da eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

Os sistemas técnicos abrangidos por este regulamento são:

- Aquecimento e arrefecimento;
- Ventilação;
- Preparação de Águas Quentes Sanitárias.

Quanto à eficiência dos sistemas técnicos a instalar, o regulamento torna obrigatório a instalação de sistema solar térmico para aquecimento de água quente sanitária nos edifícios novos sempre que haja exposição solar adequada, ou sistemas de aproveitamento de energias renováveis que visem assegurar, numa base anual, a obtenção de energia equivalente ao sistema solar térmico. Entende-se por edifícios novos o imóvel cujo processo de licenciamento ou autorização de edificação tenha data de entrada junto das entidades competentes, determinada pela data de entrada do projeto de arquiteto, posterior à data de entrada em vigor do diploma em causa (Decreto lei nº118/2013).

3.3.3. Contribuição dos sistemas de aproveitamento de energias renováveis

Quanto à contribuição dos sistemas de aproveitamento de energias renováveis, o Artigo 1º do Despacho 3156/2016 emitido pela DGEG, cita que a energia produzida pelo sistema solar fotovoltaico ou por outro sistema com aproveitamento de energia renovável deve ser determinada com recurso à versão em vigor do programa SCE.ER da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) ou outra ferramenta que utilize metodologia de cálculo equivalente devidamente validada por entidade competente designada para o efeito pelo ministério responsável pela área da energia.

O programa SCE.ER da DGEG é uma folha de cálculo do Excel elaborado para cálculos regulamentares do Sistema de Certificação de Edifícios para o aproveitamento de Fontes de Energias Renovável em edifícios, estabelecendo os requisitos mínimos de projeto e verificando a compatibilidade do projeto com os regulamentos.

Nos edifícios de habitação, a classe energética é obtida através do rácio entre as necessidades de nominais de energia primária real e referência, utilizando-se a equação 1.

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (1)$$

Onde N_{tc} é o valor das necessidades nominais anuais de energia primária e N_t o valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária, ambos calculados de acordo com o disposto no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (Despacho n.º 15793-J/2013). O valor das necessidades nominais de energia primaria é calculado através da equação 2.

$$N_{tc} \left[\frac{\text{kWh}_{EP}}{\text{m}^2 \cdot \text{ano}} \right] = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{l,k} \cdot N_{lc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (2)$$

$$+ \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,j}$$

Pela análise da equação 2, é possível verificar que quanto maior for a contribuição das energias renováveis, menor será o valor das necessidades nominais anuais de energia primária e consequentemente, menor será o rácio R_{Nt} e melhor será a classe energética do edifício.

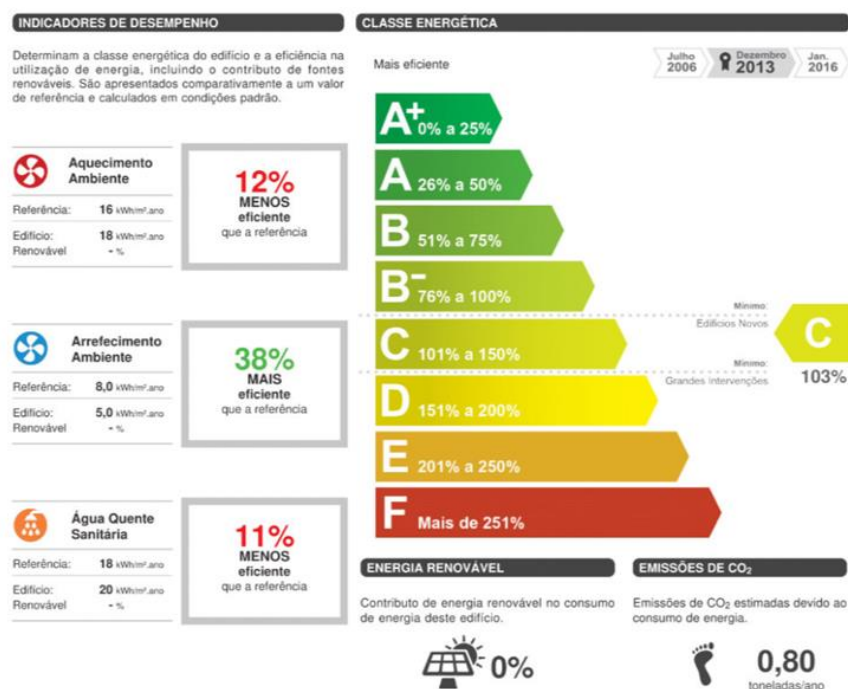
Os intervalos de valores que determinam a que classe pertence o edifício tendo em conta o rácio entre as necessidades de energia primaria real e referência são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Intervalos de valores para as classes energéticas (Despacho n.º 15793-J/2013)

Classe Energética	Valor de R_{Nt}
A +	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

De seguida, na figura 8, é apresentado um exemplo de certificado energético de um edifício de habitação, onde é possível ver os indicadores de desempenho que mostram a percentagem da eficiência em relação aos valores de referência de fatores como: aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e AQS.

Para além disso, o certificado apresenta o valor das emissões de dióxido de carbono (CO_2) estimadas devido ao consumo de energia e o contributo das energias renováveis no consumo de energia do edifício.

**Figura 8 - Exemplo de certificado energético de um edifício de habitação**

3.3. Perfil de consumo

Diagrama de carga ou perfil de consumo, é um gráfico de carga elétrica ou de outro tipo de consumo em função do tempo. O diagrama de carga é definido a partir de uma sequência ao longo de 24 horas.

No caso dos sistemas de produção de AQS, os perfis de carga estão divididos em vários grupos que variam de 3XS a XXL, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 - perfis de carga das necessidades de AQS em litros (Adaptado de Casa Eficiente, 2020)

Perfil de carga	Necessidades associadas ao perfil	Aplicação	Volume AQS
3XS	Lavagem de mãos pontual	Pequenos escritórios	6 litros
XXS	Lavagens domésticas	Pequenos escritórios	36 litros
XS	Cozinha(pontual)e lavagens domésticas em simultâneo	Escritórios	36 litros
S	Cozinha (lavagem pontual pratos) e lavagens domésticas	Escritórios	36 litros
M	Cozinha, lavagens domésticas e banhos	Residencial (1-2pessoas)	100 litros
L	Cozinha, lavagens domésticas e banhos ou duche	Residencial (3-4pessoas)	200 litros
XL	Cozinha, lavagens domésticas e banhos e/ou duche	Residencial (5-8pessoas)	328 litros
XXL	Cozinha, lavagens domésticas e banhos e/ou duche em simultâneo	Residencial (9 ou mais pessoas)	450 litros

Para a eleição do perfil de carga que o equipamento deve suportar, deve-se ter em consideração os seguintes fatores:

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Estação do ano • Dia da semana • Altura do Dia • Padrão de ocupação • Número de ocupantes | <p>Pontos de toma de AQS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Banho • Duche • Lavatório • Máquinas de roupa e loiça • Torneira de cozinha |
|---|---|

Os perfis de carga das necessidades de AQS também podem ser definidos em termos do consumo de energia (Qref) em kWh como apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - perfis de carga das necessidades de AQS em kWh (Adaptado de Label Pack A+, sd)

Perfil de carga	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL
Qref (kWh/dia)	0,345	2,1	2,1	2,1	5,845	11,655	19,07	24,53

Para este projeto foram tidos em consideração os perfis de consumo da tabela 2 (em litros), considerando que os perfis de carga em litros apresentam a quantidade de consumidores e o volume de AQS para cada tipo de perfil.

4. TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Este capítulo tem como objetivo expor alguns conceitos teóricos relativos à energia solar, ao efeito fotovoltaico, à constituição e tipos de células FV, e aos fatores que influenciam na sua eficiência, assim como a apresentação dos principais equipamentos que constituem um sistema FV. Optou-se por apresentar estes conceitos, visto que o sistema estudado durante o estágio corresponde a um sistema de produção de águas quentes sanitárias elétrico com painéis solares fotovoltaicos.

4.1. A Energia Solar

As energias renováveis são provenientes de recursos naturais cujo ciclo de vida não tem fim, ou seja, renovam-se ao longo dos anos. Esses recursos podem ser o sol (energia solar), o vento (energia eólica), o calor proveniente da terra (energia geotérmica) ou ainda energia proveniente do movimento das marés.

A energia solar que é considerada uma fonte inesgotável, tem forte aplicação na produção da eletricidade com recurso a painéis fotovoltaicos, sendo assim, uma alternativa promissora para enfrentar os atuais desafios ambientais.

A radiação solar é um tipo de radiação eletromagnética que se propaga a uma velocidade de 300.000 km/s e ocupa uma faixa espectral de 0.1 μ m a 5 μ m. Esta radiação chega à terra como radiação direta, vinda diretamente do sol e que não sofre nenhum tipo de desvio devido a reflexão, e como radiação difusa, que chega à terra depois de passar por mudanças na sua direção após a passagem pela atmosfera (Ribeiro, 2016).

A energia fornecida pelo sol é dada pela constante solar que apresenta um valor de 1367 W/m², que representa a quantidade de energia que incide fora da atmosfera. No entanto, dessa quantidade, apenas 1000 W/m² é que chegam à superfície terrestre sob a forma de radiação perpendicular ao plano da terra, conforme é apresentado na figura 9.

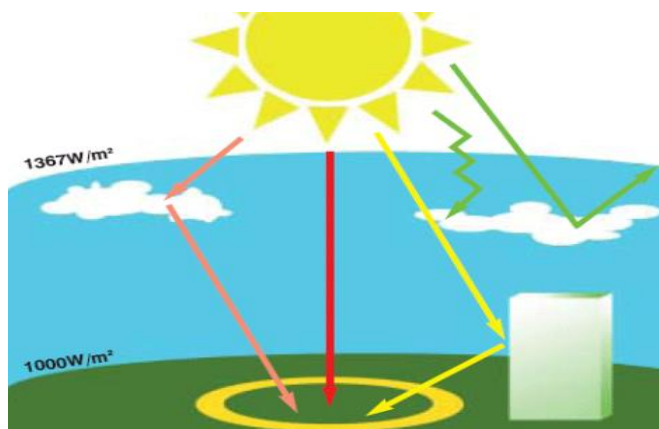


Figura 9 - Radiação solar incidente (Portal das Energias Renovaveis,2020)

A radiação incidente na terra não é constante devido à posição do sol em relação à terra, às coordenadas geográficas e aos movimentos de rotação e translação da terra.

As figuras 10 e 11, mostram a variação da radiação da terra durante o ano, verificando-se que nos continentes africano, Oceânia, América Central e do Sul registam maior intensidade de radiação.

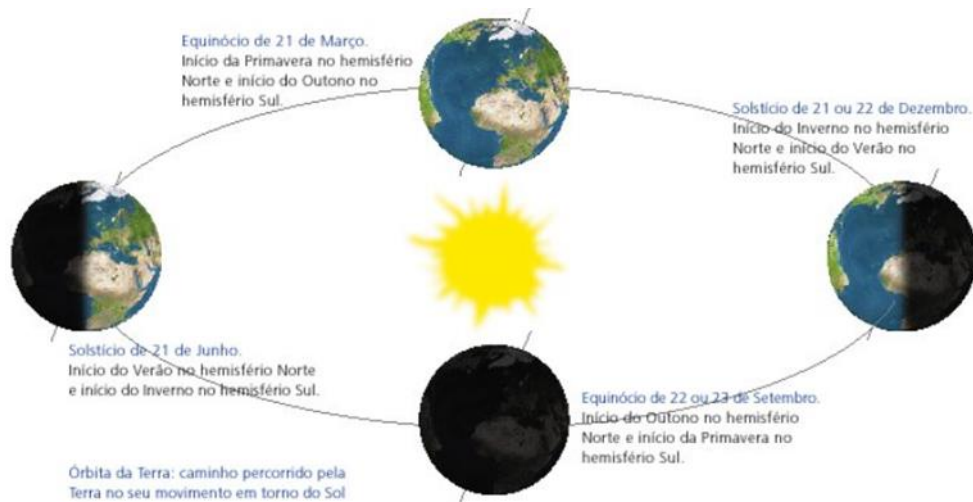


Figura 10 - Equinócios da terra ao longo do ano (Ciência Viva,2020)

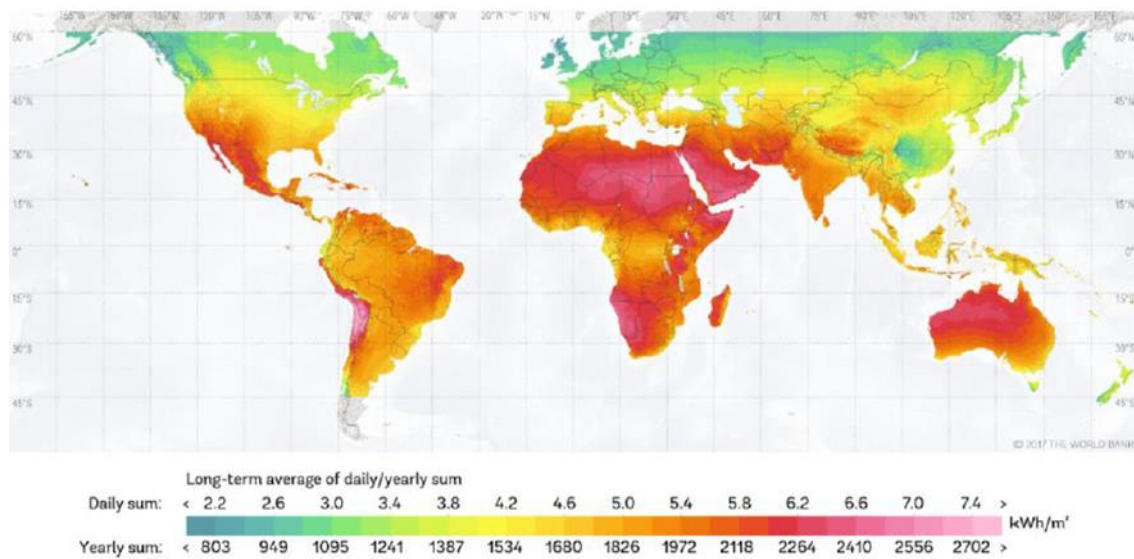


Figura 11 - Radiação horizontal incidente na terra (Araújo, 2019)

4.2. Energia Solar Fotovoltaica

4.2.1. Efeito Fotovoltaico

O efeito Fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial (ddp) quando expostas à luz.

A primeira célula fotovoltaica foi concebida em 1876, e esta é constituída por materiais semicondutores, ou seja, com características de um condutor e isolador, e que normalmente é o silício (Si), um constituinte da areia. A este elemento são adicionadas substâncias dopantes como o Fósforo (P) e Boro (B), o que permite criar as camadas do tipo n (excesso de cargas negativas) e do tipo p (excesso de cargas positivas), respetivamente, formando uma junção p-n.

A conversão da radiação solar em eletricidade ocorre quando a célula fotovoltaica é iluminada pela luz solar, e os fotões são transmitidos para a célula. Os fotões que possuem energia maior que o *band gap* do material semicondutor são absorvidos pela camada tipo-n.

O *band gap* representa a diferença energética entre a camada de valência e a camada de condução dos átomos. A energia do fotão absorvido é transferida para um eletrão e para a lacuna adjacente (camada tipo-p), o que produz uma circulação de eletrões e, portanto, uma corrente elétrica contínua entre os terminais conectados, figura 12.

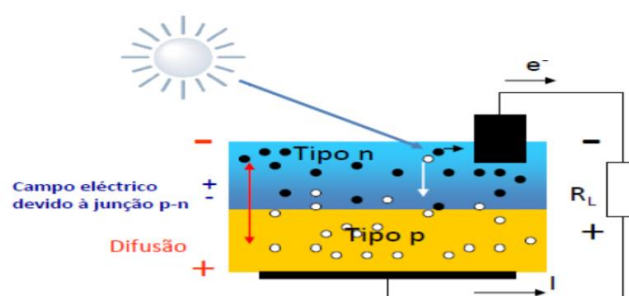


Figura 12 - Camadas p-n da célula FV (Timane, 2010)

4.2.2. Tipos de células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são também designadas por células solares pelo facto de aproveitarem a energia do sol para a geração de energia elétrica, apresentando uma eficiência de conversão entre 4 e 17%, o que significa que existem perdas por reflexão, e cerca de 50% da radiação é perdida em forma de calor para a célula (Ribeiro, 2016).

As tecnologias de construção das células fotovoltaicas dividem-se em três gerações, sendo a primeira composta pelo silício cristalino que pode ser mono ou policristalino, a segunda dá destaque às células de silício amorfo e a terceira, ainda em desenvolvimento, utiliza películas finas aplicadas em superfícies rígidas, figura 13.



Figura 13 - Tipos de células: monocristalina, policristalina e amorfa, respetivamente (ArchiExpo, 2020)

Os diferentes tipos de células apresentam particularidades que são vistas como vantagens e desvantagens a nível do rendimento energético, custo de aquisição e processo de fabrico.

1. Células de silício monocristalino

Vantagens da célula monocristalina:

- Ocupam menos espaço: uma vez que estes painéis solares possuem uma eficiência maior eles necessitam de menos espaço para gerar a mesma quantidade de energia elétrica;
- Tendem a funcionar melhor do que as células solares policristalinas em condições de pouca luz.
- Conseguem o máximo de rendimento energético (12 a 15%).

Desvantagens da célula monocristalina:

- São mais caras em relação às policristalinas e às amorfas.
- O processo usado para produzir o silício monocristalino resulta em grandes lingotes cilíndricos, onde 4 lados dos lingotes são cortados para fazer as lâminas de silício, e, portanto, uma quantidade significativa do silício não é aproveitada na célula.

2. Células de silício policristalino

Vantagens do painel solar policristalino

- A quantidade de silício residual gerado durante o processo de corte das células é menor em comparação com o monocristalino.
- São mais baratas que as células monocristalinas.

Desvantagens do painel solar policristalino

- É necessária uma área maior de painéis policristalinos para gerar a mesma quantidade de W/m^2 que o painel monocristalino.
- Apresentam um rendimento inferior (10 a 13%) em relação às monocristalinas.

3. Células de silício amorfo

Vantagens da célula de silício amorfo

- São mais baratas que as células monocristalinas e policristalinas.
- Processo de fabrico menos dispendioso com baixo consumo de energia em comparação com as células da 1ª geração.
- Produz também com radiação difusa, enquanto as outras só com radiação direta.

Desvantagens da célula de silício amorfo

- Apresentam um rendimento ainda mais baixo em relação aos outros tipos de células (inferior a 10%).
- As células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil.

4.2.3. Pannel Fotovoltaico

Um painel fotovoltaico é constituído por:

- **Vidro especial** - apresenta um baixo teor em ferro e por refletir menos, ou seja, deixa o máximo de luz possível passar por ele;
- **Película encapsulada** - conhecida por Etil-Vinil-Acetileno (EVA), que é um material selante projetado especificamente para aplicação em fotovoltaicos. Esta protege as células FV do envelhecimento causado pelos raios Ultravioleta (UV);
- **Backsheet** – que é um dos componentes da base, protege os componentes internos do painel e age como isolante elétrico;
- Moldura de alumínio – alumínio anodizado desenvolvido para conferir robustez e proteção;
- **Conjunto de células FV** – um painel FV é composto por células FV;
- **Caixa de junção** - localizado na parte de trás do painel, é o local onde as células se encontram conectadas entre si (figura 14).

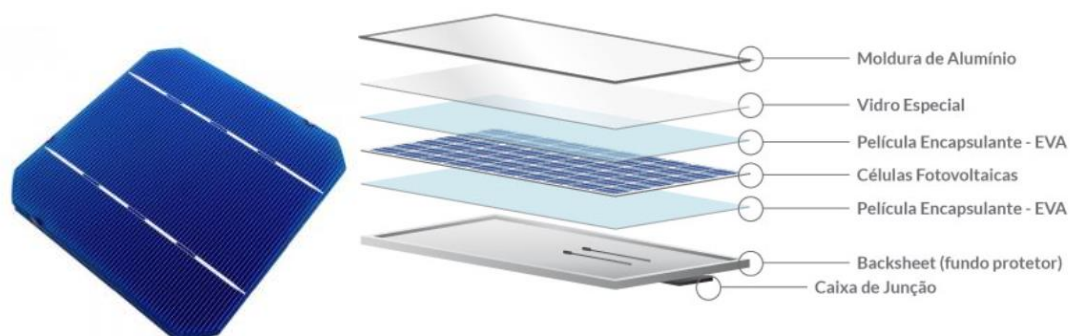


Figura 14 - Composição de um painel Fotovoltaico (Bluesol, 2020)

A eficiência dos painéis FV é dependente de fatores internos e externos à célula. Os fatores externos englobam:

- a sujidade sobre a superfície do painel;
- sombreamento;
- baixa incidência da radiação solar;
- ângulo de inclinação;
- elevadas temperaturas;

Como fatores internos apresentam-se os construtivos e a temperatura de funcionamento da célula. Por cada grau acima da temperatura de referência (25°C), as células perdem 0,45% de eficiência, daí quanto melhor for a dissipação de calor, melhor será a eficiência da célula. A figura 15 ilustra a influência da temperatura na eficiência da célula fotovoltaica.

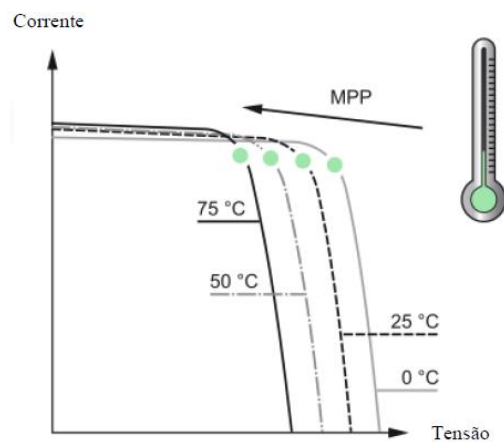


Figura 15 - Influência da temperatura na eficiência da célula FV (Araujo,2019)

A capacidade de conversão de energia do painel é dada pela curva corrente-tensão (I-V) em Ampere – Volt para uma dada intensidade de radiação solar e temperatura. Mantendo as condições de temperatura e radiação, a curva representará a combinação de valores de corrente e tensão operacionais para o painel, figura 16 (Teixeira, 2015).

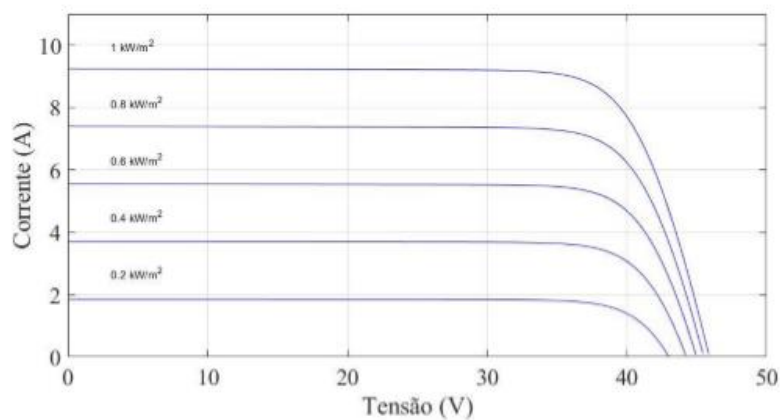


Figura 16 - Curva I x V para variação de irradiação (Schied, 2018)

O funcionamento das células pode também ser analisado através da curva tensão-potência (V-P) em Volt-Watt também dependendo da temperatura e da intensidade da radiação, conforme é apresentado na figura 17.

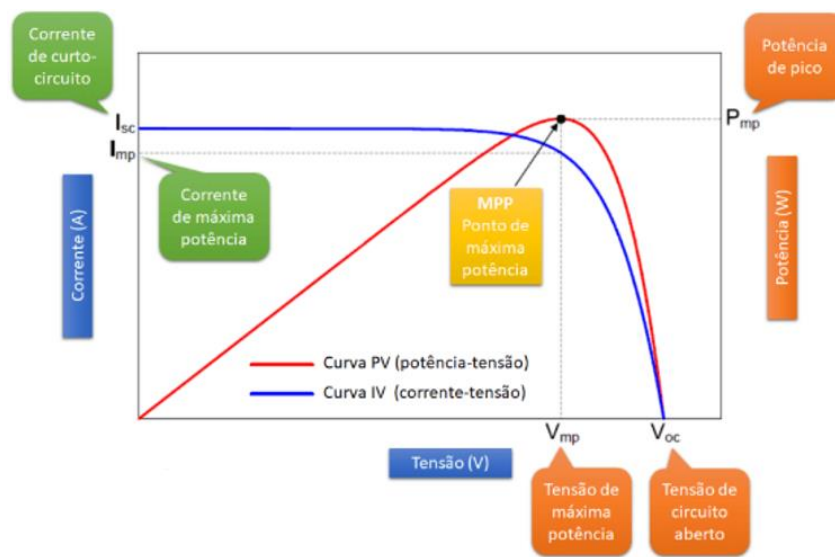


Figura 17 - Curvas I-V e V-P (Canal Solar,2020)

A partir dos gráficos das figuras acima, é possível retirar valores tais como:

- Intensidade da corrente em curto-circuito, I_{sc} ;
- Tensão em circuito aberto, V_{oc} ;
- Potência máxima que ocorre para o ponto de potencia máxima, P_{MP} ;
- Intensidade da corrente e tensão para um dado ponto, I_{MP} ;
- Eficiência da célula, η ;

Intensidade da corrente de curto-circuito, I_{sc} : corrente máxima produzida pela célula para um dado valor de temperatura e radiação, que corresponde a um valor de tensão igual a zero e valor nulo de potência (Araújo, 2019).

Tensão de circuito aberto, V_{oc} : valor máximo de tensão produzido pela célula para dados valores de temperatura e radiação, correspondente a uma intensidade de corrente igual a zero e valor nulo de potência (Araújo, 2019).

Potência máxima, P_{MP} : valor máximo de potência que a célula consegue produzir para determinados valores de tensão e intensidade de corrente que são denominados tensão de potencia máxima e intensidade de corrente máxima (Araújo, 2019).

$$P_{MP} = V_{MP} * I_{MP} \quad (3)$$

Eficiência, η : representa a relação entre a potência máxima produzida pela célula e a potência de energia solar incidente sobre a mesma célula.

O sistema fotovoltaico é geralmente composto pelos painéis FV e um inversor de corrente (de contínua - CC para alternada - CA), figura 18. No caso de se pretender armazenar a energia elétrica para utilizar posteriormente, pode-se optar pela instalação de baterias e respetivo regulador de carga de bateria.

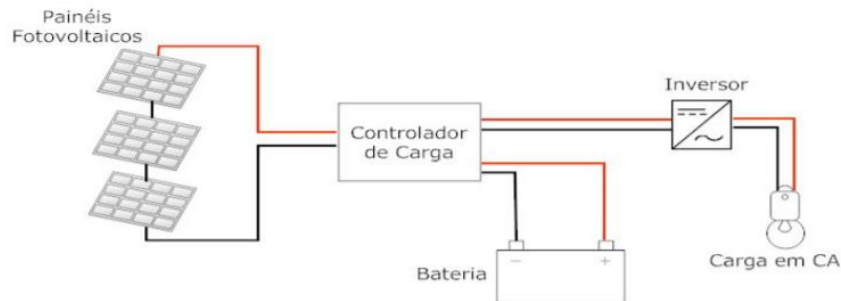


Figura 18 - Esquema de montagem do sistema Fotovoltaico (Serrão,2010)

Neste capítulo não é exposto conteúdo referente aos inversores de corrente pelo facto de não se ter utilizado este equipamento na instalação experimental do projeto.

5. DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL E METODOLOGIA

Como referido anteriormente, o trabalho desenvolvido durante o estágio no CTCV foi o estudo de um sistema de AQS alimentado diretamente por painéis fotovoltaicos dedicados só a este sistema. Este sistema, tem como particularidade o facto de a resistência elétrica de aquecimento da água ser alimentada diretamente pelo sistema FV, em que é fornecida uma tensão elétrica contínua, sem que haja necessidade de utilizar um inversor para fazer a conversão para tensão alternada.

No sentido de se estudar a viabilidade económica deste sistema, foi usado como sistema de referência um termoacumulador elétrico alimentado diretamente pela rede elétrica, com perfis de consumo de água quente idênticos nas duas situações.

Neste capítulo é feita a descrição da instalação experimental que foi desenvolvida e são apresentados os pressupostos utilizados nos ensaios e nos cálculos.

5.1. Descrição da instalação experimental

A instalação experimental em termos gerais consiste num reservatório de água de 180 litros que inclui uma resistência elétrica de 2,5 kW de potência elétrica para aquecimento da água. O sistema de base é somente alimentado pela rede elétrica.

Ao sistema original, para ser alimentado eletricamente pelos módulos FV, foram adicionados outros equipamentos. De seguida são apresentados os equipamentos constituintes da instalação experimental, assim como os aparelhos de medida utilizados.

Equipamentos constituintes da instalação experimental:

1. Reservatório de água de 180 litros;
2. Unidade de aquisição de dados como as temperaturas de entrada e saída da água do reservatório de água, temperatura ambiente, caudal de saída da água, pressão e valores da irradiação solar;
3. Unidade de aquisição de dados dos painéis solares: tensão e corrente;
4. 6 painéis FV policristalinos de 250W de potência cada;
5. 1 Piranómetro;
6. 1 Manómetro – instalado no ponto de saída da água;
7. 2 Termoresistências PT100 – instalados nos pontos de entrada e saída da água;
8. Analisador de energia elétrica portátil;
9. Acessórios de ligação rápida;
10. 2 Torneiras de $\frac{3}{4}$ polegadas;
11. 1 Válvula de segurança;
12. Cabo solar;
13. 1 Resistência Shunt;

A montagem da instalação experimental ocorreu em duas fases:

1.ª fase: Montagem do sistema para monitorização do consumo de eletricidade oriunda da rede elétrica;

2.ª fase: Montagem do sistema para monitorização da eletricidade produzida e consumida do sistema FV;

Para a realização da montagem, teve-se em consideração os procedimentos da norma EN 12897:2016 - Reservatórios de água – Especificação para aquecedores de água não aquecidos indiretamente. Na figura 19 são apresentados os elementos que devem fazer parte da instalação, segundo a norma.

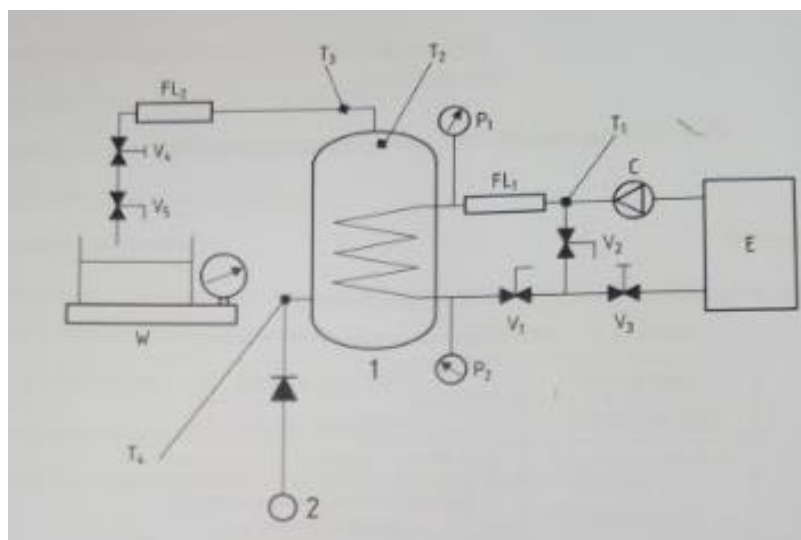


Figura 19 - Esquema da instalação (EN 12897:2016)

Onde:

1 – Aquecedor de água em teste;

2 – Reservatório de água;

E – Fonte de energia;

C – Circulador;

W – Dispositivo de pesagem;

P₁, P₂ - Medidor de pressão;

T₁, T₂, T₃, T₄ - Sensores de temperatura;

FL₁, FL₂ - Caudalímetros;

V₃, V₂, V₅ - Válvulas de 3/4";

V₁, V₄ - Válvulas de controlo de caudal.

De seguida, são apresentados os vários passos da montagem da instalação seguindo as indicações da norma EN 12897:2016.

A figura 20 apresenta a montagem real da instalação.



Figura 20 - Ligações do reservatório de água

As torneiras de $\frac{3}{4}$ foram instaladas nos orifícios de entrada (em baixo) e saída (em cima) da água do reservatório. A mangueira da entrada da água recebe a água da rede. Os sensores de temperatura foram também instalados nos pontos de entrada e saída da água. Na saída do reservatório, o sensor foi colocado antes da torneira para se saber a temperatura da água mesmo antes da saída do reservatório, como apresentado na figura 21.

Na figura 22 é apresentado uma imagem do sensor de temperatura utilizado, que é uma termoresistência PT100.



Figura 21 - Localização do sensor de temperatura da água da entrada



Figura 22 - Sensor de temperatura PT100

O manómetro, sensor de pressão, foi instalado no ponto de saída da água, antes da torneira, como se pode verificar na figura 23.



Figura 23 - Localização do manómetro

O controlo da temperatura da água e caudal de retirada foi feito através de um aparelho de aquisição de dados. Definiu-se no aparelho o caudal de retirada de modo que em todas as tiragens o caudal fosse o mesmo.

O processo de retirada foi manual, tendo sido necessário dar ao equipamento a instrução para iniciar a retirada de água e mais tarde para terminar a retirada. O controlo do tempo de retirada da água foi feito pelo utilizador.

A figura 24 apresenta o equipamento de aquisição de dados e a posição da mangueira que recebia a água quente do reservatório e da mangueira que encaminhava a água para o esgoto.



Figura 24 - Equipamento de aquisição de dados (à esquerda) e Mangueiras de saída da água (à direita)

Na 1ª fase dos ensaios, em que o reservatório era alimentado pela rede elétrica, para medir e adquirir os dados referentes a energia e potência elétrica consumidas pela resistência elétrica do reservatório, recorreu-se a um analisador de energia Circutor eBox 1500, que conectado a um dispositivo móvel consegue monitorizar e gravar os consumos 24 horas por dia. O aparelho foi programado para fazer leituras a cada 5 minutos (figura 25).



Figura 25 - Analisador de energia

Na 2ª fase dos ensaios, em que se ligaram os módulos FV para alimentar o reservatório, para medir a corrente e a tensão à saída dos módulos, recorreu-se a um equipamento de aquisição de dados da marca Agilent com referência 34970A.

Com base num programa disponibilizado pelo fabricante do equipamento denominado Benchlink Data_Logger3 foi possível monitorizar e gravar os valores de tensão e corrente, e posteriormente calcular a potência.

As figuras 26 e 27 apresenta o equipamento e o layout do programa utilizado.



Figura 26 - Agilent 34970A

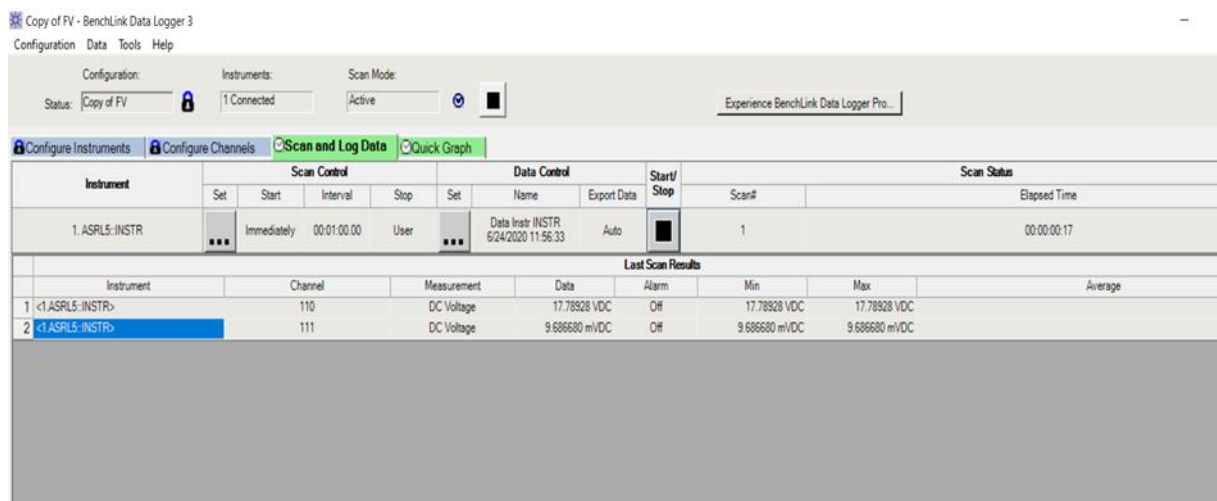


Figura 27 - Layout do programa Benchlink Data_Logger3

Tendo em consideração que os painéis fotovoltaicos produzem corrente contínua (CC) e os equipamentos funcionam em corrente alternada (CA), recorreu-se a uma resistência shunt, que é um dispositivo elétrico através do qual é possível medir e limitar a intensidade da corrente (figura 28).

O aparelho de aquisição de dados, Agilent 34970A, tem uma gama de medição de tensão entre 0V e 300 V (Anexo C) e corrente máxima de 1A, e os painéis produzem uma corrente superior a 1A, daí que foi necessário um equipamento como a resistência shunt para que o reservatório de água quente não ficasse danificado.

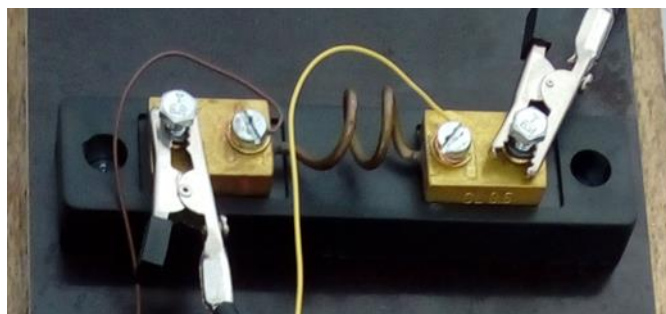


Figura 28 - Resistência Shunt

5.2. Metodologia

Nesta secção são apresentados os pressupostos utilizados na realização dos ensaios, considerando que se trata de um sistema alternativo para produção de AQS para uso doméstico.

5.2.1. Seleção do perfil de consumo

Foram seleccionados para a análise os perfis de consumo M e L referidos da tabela 2 (capítulo 3) deste documento. O perfil M e L, correspondem a consumos domésticos, mas como a capacidade do reservatório é de 180 litros, e tendo em consideração que não se gasta menos de 40 litros por banho (BBC, 2020 e Fernandes, 2013), para o perfil L fez-se o ensaio para apenas 3 pessoas devido a capacidade do reservatório ser inferior a 200 litros.

O perfil M é referente a um consumo de água quente de cerca de 100 litros, para 1 ou 2 pessoas. O perfil L é referente a um consumo de água quente de cerca de 200 litros, para 3 ou 4 pessoas.

5.2.2. Seleção dos momentos e duração das retiradas de água

Após a seleção dos perfis de consumo, passou-se à seleção dos momentos de retirada de água, da duração da retirada e do caudal. Para cada perfil de consumo decidiu-se retirar a água do reservatório em dois momentos diferentes do dia: de manhã e no final da tarde (às 17 horas), para simular o consumo de uma habitação.

Quanto ao tempo, optou-se por retirar a água durante 5 minutos, pelo fato de o tempo de banho variar entre 5 e 10 minutos (Fernandes, 2013), e ser o tempo recomendado pela Organização Mundial da Saúde – OMS.

5.2.3. Caudal

Na seleção do caudal, teve-se também em consideração a norma EN 12897:2016, que indica que para testes de desempenho de reservatórios de água quente, o valor do caudal de saída da água para reservatórios com volume entre 100 e 250 litros é de 0,25 l/s (tabela 4). No entanto,

devido a limitações do equipamento que controla as tiragens de água, só foi possível realizar ensaios com um caudal de 0.21 l/s, o que se considerou aceitável.

Com um caudal de 0.21 l/s e uma duração de 5 minutos, teve-se um consumo de água de cerca de 63 litros, por cada retirada.

Tabela 4 - Valores para caudal de água quente da norma EN 12987:2016

Volume (l)	Caudal (l/s)
$V \leq 100$	0,15
$100 < V \leq 250$	0,25
$250 < V \leq 500$	0,50
$500 < V \leq 750$	0,75
$750 < V \leq 2000$	1,00

A tabela 5 apresenta o resumo dos perfis de consumo considerados para a realização dos ensaios, assim como a duração da retirada da água, duração do ensaio de cada perfil de carga e o caudal aplicado.

Tabela 5 - tempo e momentos de retirada e caudal de saída da água

Perfil de consumo		Retirada de água		Tempo de elaboração do perfil	Tempo de retirada	Caudal
		Manhã	Tarde			
M	1 pessoa	1	1	7 dias	5 minutos	0.21 l/s
	2 pessoas	2	2	7 dias		
L	3 pessoas	3	3	7 dias		

5.2.4. Temperatura

Para além dos parâmetros acima definidos, outro fator importante foi a temperatura da água no reservatório. Segundo estudos feitos até ao momento, comprova-se que em ambientes aquáticos, num certo intervalo de temperatura, ocorre o desenvolvimento da bactéria da doença dos legionários (*legionella*), que é transmitida ao homem por inalação de gotículas de água contaminada conhecidas por aerossóis, que atingem os pulmões.

O desenvolvimento desta bactéria é favorecido por fatores como a temperatura da água entre 20°C e 45°C, humidade relativa superior a 60% e zonas de reduzida circulação de água como reservatórios de água, tubagens de redes prediais, etc. (DGS, 2013). A figura 29 apresenta o desenvolvimento da bactéria em função da temperatura.

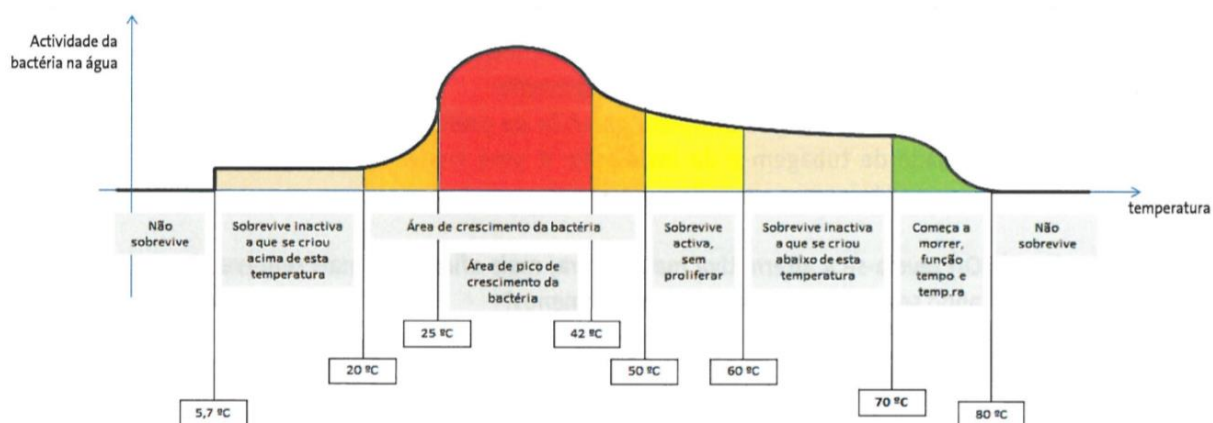


Figura 29 - Desenvolvimento da *legionella* de acordo com a temperatura (DGS, 2013)

Através do diagrama da figura 29, é possível observar que a bactéria se desenvolve entre os 20°C e os 50°C e pode sobreviver ativamente sem se proliferar até aos 60°C.

.09+21 Para a realização dos ensaios, considerou-se que a temperatura da água do reservatório seria 60°C. No entanto, para se garantir que a água atingiria a temperatura de 60°C, foi necessário definir como temperatura máxima do reservatório 75°C.

5.2.5. Tarifa de eletricidade

Atendendo que se pretende determinar a viabilidade económica do sistema de produção de AQS alternativo, é necessário escolher a tarifa de eletricidade típica de uma habitação residencial.

Para determinar os custos com a eletricidade para o sistema de AQS, foi considerada uma potência contratada até 6,9 kVA que é uma escolha comum para residências (figura 30).



Figura 30 - Potências contratadas (Selectra, 2020)

Consideraram-se dois tipos de tarifas: simples e bi-horária, em Baixa Tensão Normal (BTN). A tabela da figura 31 apresenta o preço por kWh em vigor para o ano de 2020, para as tarifas simples e bi-horária sem o valor do IVA (Imposto sobre o Valor Acrescentado).

Energia activa		(EUR/kWh)
Tarifa simples <=6,9 kVA		0,1543
Tarifa simples >6,9 kVA		0,1543
Tarifa bi-horária <=6,9 kVA	Horas fora de vazio	0,1873
	Horas de vazio	0,1013
Tarifa bi-horária >6,9 kVA	Horas fora de vazio	0,1873
	Horas de vazio	0,1013

Figura 31 - Preço do kWh (Folha de Excel ERSE)

Para a tarifa bi-horária, foi seleccionado o ciclo diário devido ao período de ocorrência do ensaio que se efectuou na sua totalidade nos dias úteis, não se considerando, portanto, os fins de semana.

A tarifa bi-horária com ciclo diário não faz distinção entre dias úteis e fins de semana, sendo o mesmo horário de vazio e fora de vazio aplicado todos os dias (figura 32).

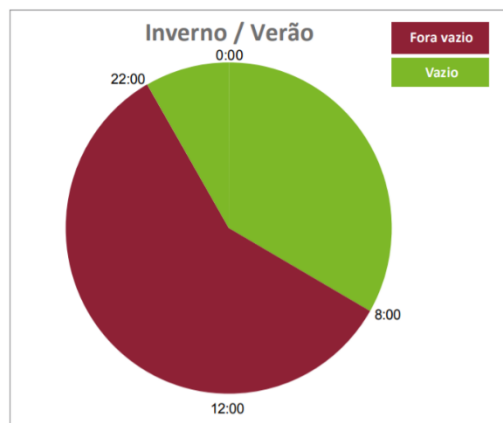


Figura 32 - Tarifa bi-horária com ciclo diário (ERSE, 2018)

6. RECOLHA E ANÁLISE DOS DADOS DE CONSUMO SEM MÓDULOS FV

Neste capítulo são apresentados os consumos de água quente para o sistema de AQS (termoacumulador elétrico) alimentado diretamente pela rede elétrica, para os perfis de consumo seleccionados (M e L). É também feita uma análise energética e determinados os custos associados ao consumo de energia elétrica utilizando as tarifas de eletricidade apresentadas na subsecção 5.6 deste documento.

6.1. Dados do consumo da água quente

Nesta secção são apresentados os consumos de água quente dos perfis M e L, por via de diagramas de carga onde são indicados os momentos de retiradas de água, e é feita uma análise dos consumos de água para os 2 perfis de consumo considerados.

6.1.1. Perfil M

Como referido anteriormente, o diagrama de carga ou perfil de consumo obtido é relativo às medições realizadas durante 7 dias úteis. Neste perfil, para o número de consumidores igual a 1, a água foi retirada uma vez de manhã e outra vez depois das 17 horas. O mesmo procedimento foi realizado para o número de consumidores igual a 2.

Os ensaios do perfil M foram realizados durante o inverno, nos meses de fevereiro e março. O diagrama da figura 33, apresenta os momentos das retiradas da água quente nos períodos da manhã e da tarde para 1 consumidor.

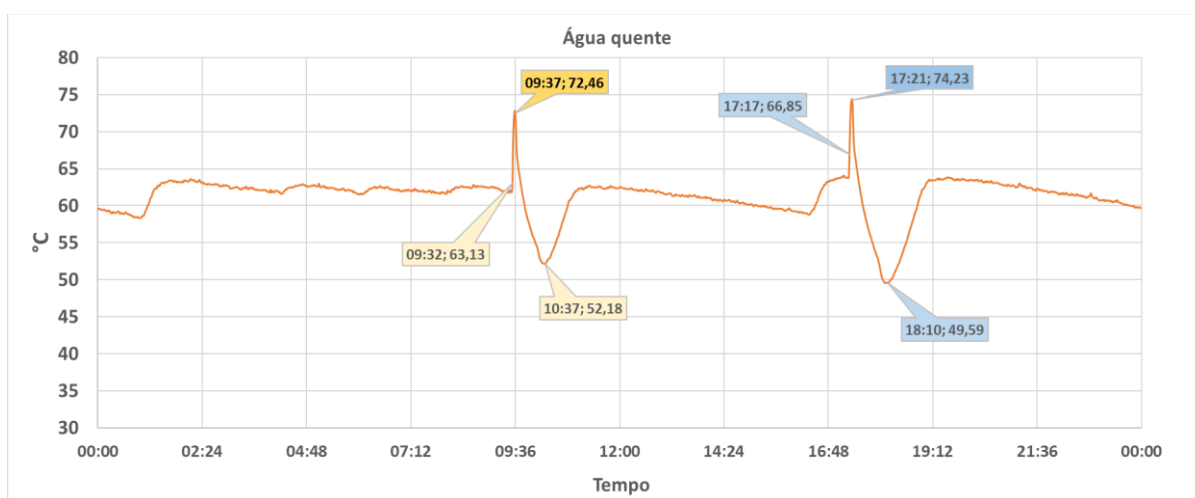


Figura 33 - Diagrama da temperatura da água em função do tempo para 1 pessoa (perfil M)

O gráfico da figura 33 é de um dia representativo (20 de fevereiro de 2020), de ensaios do perfil M, para 1 consumidor. Os pontos marcados no gráfico da figura 33, representam os momentos de início da retirada da água, término e o valor de temperatura mais baixa atingida após a

retirada, respetivamente. Os pontos marcados com a cor laranja indicam o período da manhã e os marcados com a cor azul o da tarde.

Pela análise da figura 33, quando o consumidor é apenas 1, após a retirada da água, esta demora cerca de 1 hora para voltar a atingir os 60 °C no período da manhã, e cerca de 90 minutos no período da tarde. No período da manhã, a água do reservatório levou menos tempo a voltar a atingir os 60°C, porque a água de entrada no reservatório da parte da manhã estava a uma temperatura superior. Este efeito, deve-se certamente ao facto de não ter havido consumo de água quente durante a noite e de a temperatura no reservatório se ter mantido, tendo aquecido a tubagem de entrada da água da rede junto ao reservatório, figura 34.

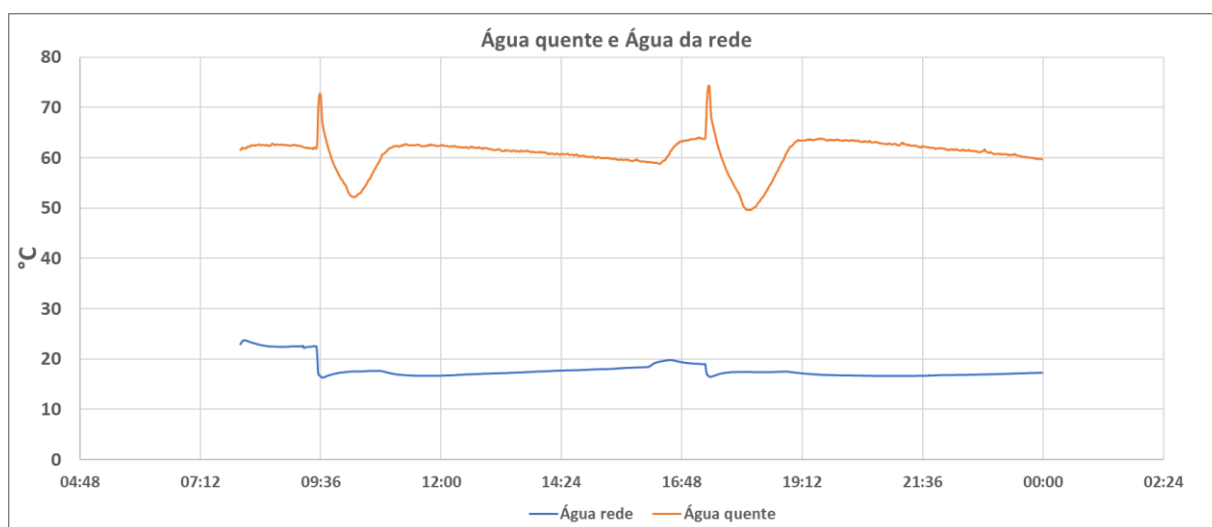


Figura 34 - Temperatura da Água quente e Água da rede (20 de fevereiro de 2020)

A figura 35 apresenta os momentos de início e término das retiradas de água quente nos dois períodos do dia para 2 consumidores no Perfil M.

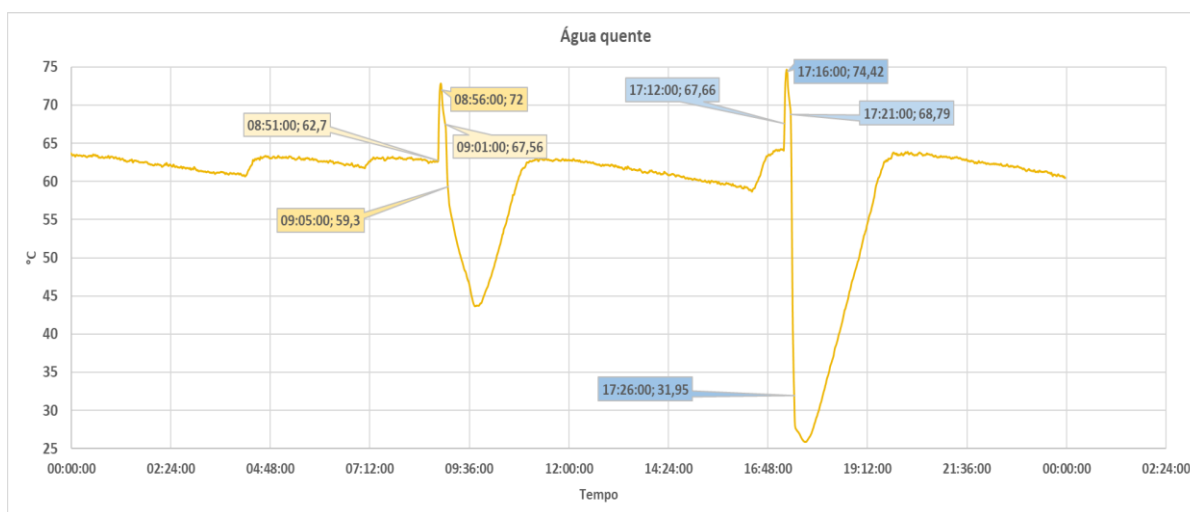


Figura 35 - Diagrama da temperatura da água em função do tempo para 2 pessoas (perfil M)

O gráfico da figura 35 é de um dia representativo (02 de março de 2020), de ensaios do perfil M, para 2 consumidores.

Quando são 2 consumidores, após a segunda retirada, a água leva cerca de 100 minutos para atingir os 60°C no período da manhã e 120 minutos no período da tarde. A água levou mais tempo para reaquecer no período da tarde pela mesma razão apresentada anteriormente (figura 35).

Nas duas figuras apresentadas anteriormente, observa-se que quando se inicia a retirada da água, a temperatura da água tende a subir, descendo rapidamente logo de seguida. Este fenómeno ocorre porque antes da retirada da água, o fluido encontra-se estagnado e não está em contacto com a sonda de temperatura. A sonda de temperatura encontra-se à saída do reservatório, ou seja, antes da retirada, a sonda lê a temperatura ambiente dentro do reservatório, passando somente a ler temperatura real da água no momento da saída da água.

6.1.2. Perfil L

Como referido anteriormente, para o perfil L, foi somente considerado um número de consumidores igual a 3, devido a capacidade do reservatório ser de 180L e considerando que a maioria das pessoas gasta sempre mais de 40L por duche, geralmente cerca de 63L, como consequência do caudal e duração do banho.

À semelhança do que foi feito no perfil M, as retiradas de água foram realizadas no período da manhã e da tarde, sendo que para este perfil, foram realizadas 3 retiradas em cada período do dia. Os ensaios deste perfil decorreram no período da primavera (início de março e final de maio). A figura 36 apresenta o diagrama da temperatura para o perfil L, indicando as horas de início e término de cada retirada.



Figura 36 - Diagrama da temperatura da água em função do tempo para 3 pessoas (perfil L)

O gráfico da figura 36 é de um dia representativo (26 de maio de 2020), de ensaios do perfil L, para 3 consumidores.

Os pontos marcados com a cor laranja representam o período da manhã e os azuis o período da tarde, onde os pontos mais claros representam o início e os mais escuros o término de cada retirada. Assim como aconteceu no perfil M, neste perfil também se nota que o aquecimento da água no período da tarde leva mais tempo em relação ao período da manhã.

Neste perfil, de modo a garantir que as retiradas eram feitas com a água a uma temperatura superior a 60 °C e durante 5 minutos, uma das retiradas foi realizada espaçada das restantes, daí que se nota no diagrama da figura 36 que o espaço de tempo entre o início de retirada e o término é muito superior em relação ao do perfil M.

Aquando da realização dos ensaios do perfil L, a temperatura da água da rede era mais alta fazendo com que após o término da retirada, a água tenha demorado cerca de 105 minutos para reaquecer nos dois períodos do dia. Tempo este que é inferior ao tempo que levou a reaquecer a água quando eram 2 consumidores no Perfil M, devido à estação do ano que possibilitou temperaturas mais altas para água da rede.

6.2. Análise energética

Nesta secção é feita a análise energética dos perfis M e L, apresentando-se os consumos de energia diários medidos durante 7 dias úteis e a partir dos quais se determinou o consumo médio diário para cada situação. Considerou-se para este efeito dois cenários, um em que o consumidor faz o uso da água quente para o banho 1 vez por dia, e outro cenário em que o consumidor faz o uso da água quente para o banho 2 vezes por dia.

6.2.1. Perfil M

A figura 37 exibe o consumo de energia e a variação da temperatura num período de 24 horas, de um dia de ensaio, 20 de fevereiro de 2020.

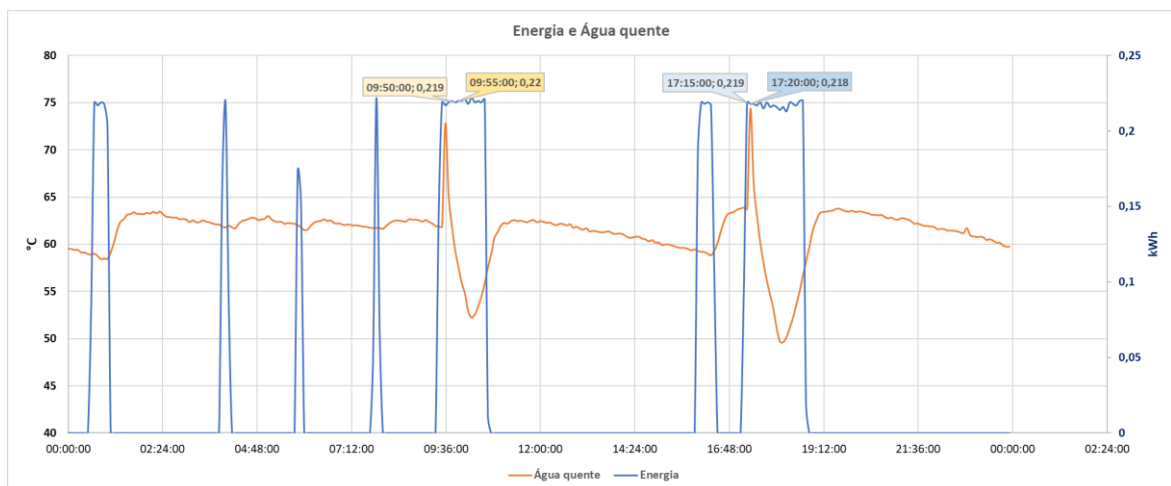


Figura 37 - Gráfico Energia x Temperatura 1 pessoa

Nota-se que os períodos de maior consumo de energia coincidem com os momentos de retirada e reaquecimento da água. Ao longo das 24h, nomeadamente durante a noite, existem momentos de pequeno consumo que são referentes à compensação das perdas de calor do reservatório. Os pontos em que o consumo de energia é nulo, representam o período em que a temperatura se encontra a um valor igual ou superior à 60 °C.

A tabela 6 que se segue, apresenta o consumo de energia medido durante 7 dias, no mês de fevereiro, para 1 consumidor.

Com base nos valores medidos durante 7 dias úteis, obteve-se o consumo de energia médio diário que será usado como o consumo diário de referência para todo o ano para uma pessoa, que é de 4,61 kWh para um consumo de água quente 1 vez por dia e de 9,22 kWh para um consumo duas vezes por dia.

Tabela 6 - Consumo de energia diário e semanal 1 pessoa

1 pessoa - perfil M				
CONSUMO 2 VEZES POR DIA			CONSUMO 1 VEZ POR DIA	
	ENERGIA (kWh)			ENERGIA (kWh)
1	8,03		1	4,01
2	9,78		2	4,89
3	7,81		3	3,90
4	10,43		4	5,22
5	10,71		5	5,36
6	9,60		6	4,80
7	8,18		7	4,09
Semanal	64,54		Semanal	32,27
Média diária	9,22	Média diária	4,61	

- **2 consumidores**

A figura 38 exibe o consumo de energia e a variação da temperatura num período de 24 horas, de um dia de ensaio (28 de fevereiro de 2020), para 2 consumidores.

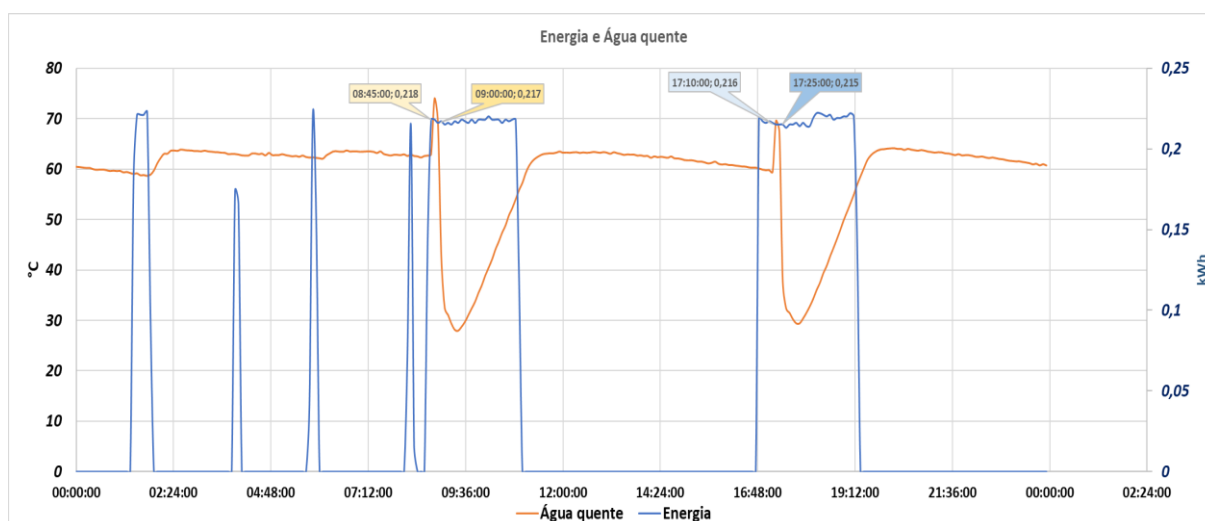


Figura 38 - Gráfico Energia x Temperatura 2 pessoas

A tabela 7 que se segue, apresenta o consumo de energia medido durante 7 dias, nos meses de fevereiro e março, para 2 consumidores.

Com base nos valores medidos durante 7 dias, obteve-se o consumo de energia médio diário que será usado como o consumo diário de referência para todo o ano para duas pessoas, que é de 6,26 kWh para um consumo de água quente 1 vez por dia e de 13,75 kWh para um consumo duas vezes por dia.

Tabela 7 - Consumo de energia diário e semanal 2 pessoas

2 pessoas - perfil M				
CONSUMO 2 VEZES POR DIA			CONSUMO 1 VEZ POR DIA	
	ENERGIA (kWh)			ENERGIA (kWh)
1	12,41		1	6,20
2	14,52		2	7,26
3	14,59		3	7,30
4	12,76		4	6,38
5	14,43		5	7,22
6	14,41		6	7,21
7	12,57		7	2,26
Semanal	96,23		Semanal	43,82
Média diária	13,75		Média diária	6,26

6.2.2. Perfil L

Nesta secção são apresentados os gráficos do consumo energético do Perfil L e o consumo de energia diário e semanal para 2 cenários, com 3 consumidores.

A figura 39 exibe o consumo de energia elétrica num período de 24 horas e a sua relação com o consumo de água quente.

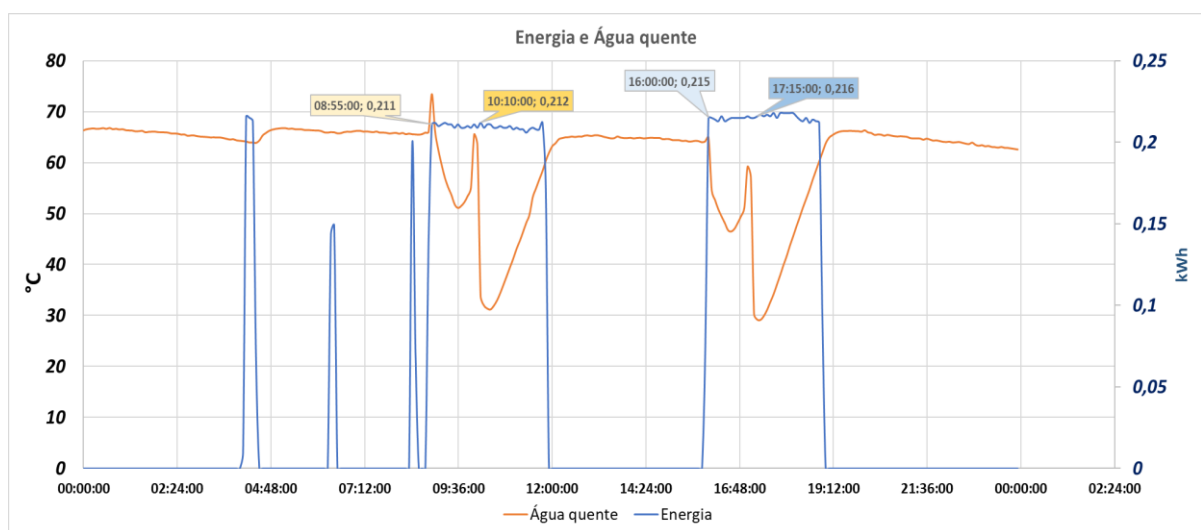


Figura 39 - Diagrama Energia x Temperatura

O gráfico da figura anterior é de um dia representativo (26 de maio de 2020), de ensaios do perfil L, para 3 consumidores.

A tabela 8 que se segue apresenta o consumo de energia diário e o consumo de energia ao fim de 7 dias, para 3 consumidores.

Com base nos valores medidos durante 7 dias, obteve-se o consumo de energia médio diário que será usado como o consumo diário de referência para todo o ano para três pessoas, que é de 8,38 kWh para um consumo de água quente 1 vez por dia, e de 16,75 kWh para um consumo duas vezes por dia.

Tabela 8 - Consumo de energia diário e semanal para 3 pessoas (perfil L)

3 pessoas - perfil L				
CONSUMO 2 VEZES POR DIA			CONSUMO 1 VEZ POR DIA	
	ENERGIA (KWh)			ENERGIA(KWh)
1	14,20		1	7,10
2	19,93		2	9,96
3	19,42		3	9,71
4	14,33		4	7,16
5	16,63		5	8,32
6	17,98		6	8,99
7	14,79		7	7,40
Semanal	117,28		Semanal	58,64
Média diária	16,75		Média diária	8,38

Como demonstrado nas tabelas dos Perfis M e L, o consumo de energia médio diário para o perfil M pode variar entre 4kWh e 13 kWh, e no perfil L, pode variar entre 8kWh e 16kWh, dependendo da quantidade do consumo.

6.3. Análise económica

Nesta secção, são determinados os custos com a eletricidade para os dois perfis de consumo em estudo, tendo-se em consideração as tarifas de eletricidade em vigor publicadas pela ERSE apresentadas no subcapítulo 5.6 deste documento. Estes custos serão utilizados na análise da viabilidade económica do sistema de AQS estudado no capítulo 8.

Foram consideradas as tarifas simples e bi-horária com ciclo diário para uma potência contratada até 6,9kVA. Para o cálculo dos custos gerados pelo consumo da energia elétrica da rede pública, considerou-se o valor do IVA de 23%.

Para a tarifa simples, considerou-se que o custo diário de energia seria o produto da média diária de energia e o valor da tarifa de eletricidade, e para o custo anual de energia, fez-se o produto entre o custo diário e 365 dias do ano.

Para a tarifa bi-horária, foram feitos cálculos para as horas de vazio e fora de vazio. Os valores finais de custo da energia elétrica derivam da soma entre os custos obtidos em vazio e em fora de vazio.

6.3.1. Perfil M

A tabela 9, apresenta o consumo de energia médio diário, para 1 consumidor, assim como o custo em euros, diário e anual, com a aplicação da tarifa simples.

Tabela 9 – Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 1 pessoa (Tarifa simples)

TARIFA SIMPLES (1 pessoa)			
CONSUMO 2 VEZES POR DIA		CONSUMO 1 VEZ POR DIA	
Energia média diária (kWh)	9,22	Energia média diária (kWh)	4,61
Custo médio diário(€)	€ 1,75	Custo médio diário(€)	€ 0,87
Custo anual (€)	€ 638,66	Custo anual (€)	€ 319,33

A tabela 10, apresenta o consumo de energia semanal e médio diário, para 1 consumidor, assim como o custo em euros, diário e anual, com a aplicação da tarifa bi-horária.

Tabela 10 - Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 1 pessoa (Tarifa bi-horária)

TARIFA BI-HORARIA: CICLO DIÁRIO (1 pessoa)					
CONSUMO 2 VEZES POR DIA			CONSUMO 1 VEZ POR DIA		
	CHEIO (8h-22h)	VAZIO (22h-8h)		CHEIO (8h-22h)	VAZIO (22h-8h)
Energia semanal (kWh)	51,83	12,70	Energia semanal (kWh)	25,92	6,35
Energia média diária (kWh)	7,40	1,81	Energia média diária (kWh)	3,70	0,91
Custo médio diário(€)	€ 1,71	€ 0,23	Custo médio diário(€)	€ 0,85	€ 0,11
	€ 1,93			€ 0,97	
Custo anual (€)	€ 622,64	€ 82,54	Custo anual (€)	€ 311,32	€ 41,27
	€ 705,18			€ 352,59	

Observando-se as duas tabelas nota-se que para este perfil de consumo, a aplicação da tarifa bi-horária gera uma despesa anual maior em comparação aos valores obtidos quando a tarifa é simples, devido ao facto de as retiradas de água quente serem realizadas nas horas fora de vazio. No entanto, a tarifa bi-horária é considerada nos cálculos, visto que o consumidor pode ter optado pela tarifa bi-horária para fazer desvios de consumos de outras cargas elétricas.

- **Dois pessoas**

A tabela 11 apresenta o consumo de energia médio diário, para 2 consumidores para o Perfil M, assim como o custo em euros, diário e anual, com a aplicação da tarifa simples.

Tabela 11 - Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 2 pessoas (Tarifa simples)

TARIFA SIMPLES (2 pessoas)			
CONSUMO 2 VEZES POR DIA		CONSUMO 1 VEZ POR DIA	
Energia média diária (kWh)	13,67	Energia média diária (kWh)	6,26
Custo médio diário(€)	€ 2,59	Custo médio diário(€)	€ 1,19
Custo anual (€)	€ 946,96	Custo anual (€)	€ 433,67

A tabela 12, apresenta o consumo de energia semanal e médio diário, para 2 consumidores, assim como o custo em euros, diário e anual, com a aplicação da tarifa bi-horária.

Tabela 12 - Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 2 pessoas (Tarifa bi-horária)

TARIFA BI-HORARIA: CICLO DIÁRIO (2 pessoas)						
CONSUMO 2 VEZES POR DIA				CONSUMO 1 VEZ POR DIA		
	VAZIO (22h-8h)	CHEIO (8h-22h)			VAZIO (22h-8h)	CHEIO (8h-22h)
Energia semanal (kWh)	11,98	83,71		Energia semanal (kWh)	5,99	41,86
Energia média diária (kWh)	1,71	11,96		Energia média diária (kWh)	0,86	5,98
Custo médio diário(€)	€ 0,21	€ 2,76		Custo médio diário(€)	€ 0,11	€ 1,38
	€ 2,97				€ 1,48	
Custo anual (€)	€ 77,82	€ 1 005,60		Custo anual (€)	€ 38,91	€ 502,80
	€ 1 083,42				€ 541,71	

Observando-se as duas tabelas nota-se que para este perfil de consumo, para 2 consumidores, a aplicação da tarifa bi-horária gera uma despesa anual maior em comparação aos valores obtidos quando a tarifa é simples, porque os ensaios decorreram no período fora do vazio, em que o custo da tarifa de eletricidade é mais alto relativamente ao período das horas de vazio (22h-8h).

6.3.2. Perfil L

Nesta secção é feita a análise económica tendo em consideração os tarifários de eletricidade em vigor em Portugal, assim como foi feito para o perfil M.

A tabela 13 apresenta o consumo de energia médio diário, para 3 consumidores, assim como o custo em euros, diário e anual, com a aplicação da tarifa simples.

Tabela 13 - Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 3 pessoas (Tarifa simples)

TARIFA SIMPLES (3pessoas)			
CONSUMO 2 VEZES POR DIA		CONSUMO 1 VEZ POR DIA	
Energia média diária (kWh)	16,75	Energia média diária (kWh)	8,38
Custo médio diário(€)	€ 3,18	Custo médio diário(€)	€ 1,59
Custo anual (€)	€ 1 160,57	Custo anual (€)	€ 580,28

A tabela 14 apresenta o consumo de energia semanal e médio diário, para 3 consumidores, assim como o custo em euros, diário e anual, com a aplicação da tarifa simples.

Tabela 14 - Custos com o consumo de eletricidade para AQS – 3 pessoas (Tarifa bi-horária)

TARIFA BI-HORARIA: CICLO DIÁRIO (3pessoas)					
CONSUMO 2 VEZES POR DIA			CONSUMO 1 VEZ POR DIA		
	ENERGIA KWh			ENERGIA KWh	
	CHEIO (8h-22h)	VAZIO (22h-8h)		CHEIO (8h-22h)	VAZIO (22h-8h)
Energia semanal (kWh)	106,67	10,60	Energia semanal (kWh)	53,34	5,30
Energia média diária (kWh)	15,24	1,51	Energia média diária (kWh)	7,62	0,76
Custo médio diário(€)	€ 3,51	€ 0,19	Custo médio diário(€)	€ 1,76	€ 0,09
	€ 3,70			€ 1,85	
Custo anual (€)	€ 1 281,42	€ 68,88	Custo anual (€)	€ 640,71	€ 34,44
	€ 1 350.30			€ 675.15	

Como demonstrado, a tarifa bi-horária não é vantajosa devido ao período dia em que decorreram os ensaios quando o termoacumulador estava ligado diretamente a rede elétrica.

Como referido anteriormente, a tarifa bi-horária é considerada nos cálculos, visto que o consumidor pode ter optado pela tarifa bi-horária para fazer desvios de consumos de outras cargas elétricas. Estes resultados com a tarifa bi-horária serão também utilizados aquando da análise da viabilidade económica do sistema de AQS estudado, no capítulo 8.

7. RECOLHA E ANÁLISE DOS DADOS DE CONSUMO COM MÓDULOS FV

Nesta secção são apresentados os resultados do tratamento dos dados recolhidos durante os ensaios, em que a alimentação da resistência elétrica foi feita somente pelos painéis FV, sem apoio da rede elétrica.

Seguindo a metodologia utilizada aquando dos ensaios sem os painéis fotovoltaicos, realizaram-se também ensaios durante 7 dias úteis para cada perfil de consumo. Numa fase inicial, foram utilizados 6 painéis FV de 250W de potência, e para complementar o ensaio, reduziu-se, numa fase posterior, o número de painéis para 4, quantidade com a qual apenas se fez ensaios para 1 consumidor, durante 3 dias.

A instalação experimental não tinha um mecanismo que controlasse a temperatura máxima da água, desligando a resistência elétrica sempre que atingisse os 60°C e por isso, depois dos ensaios, o reservatório era desconectado dos módulos FV por questões de segurança.

7.1. Evolução da temperatura da água em função da radiação

7.1.1. Dados do Perfil M - Uma Pessoa

Assim como foi feito para o ensaio sem os painéis FV, aqui também se optou por manter o caudal, tempo de retirada e temperatura mínima de retirada.

O diagrama da figura 40 apresenta os momentos de retirada de água e a evolução da temperatura da água em função da radiação ao longo do dia.

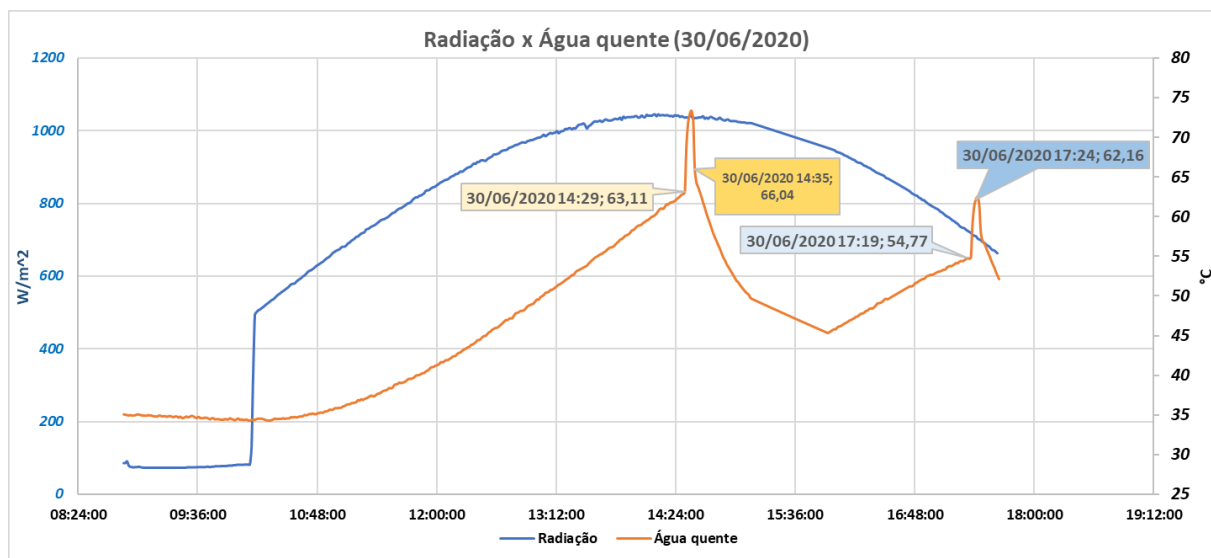


Figura 40 - Gráfico Radiação x Água quente 1 pessoa

Os valores de radiação apresentados, representam um dia típico de verão e indicam que só a partir do valor de 600 W/m² de radiação é que se começa a verificar um aquecimento

significativo da água, registando-se os valores máximos de radiação entre as 12h30 e as 15 horas.

Com a utilização dos painéis, neste perfil de consumo, para água atingir os 60°C (temperatura definida para retirada de água), são necessárias cerca de 3 horas e 30 minutos, a partir do momento em que se regista 600 W/m² de radiação, não sendo possível ter-se água quente no período da manhã aquecida pelos módulos FV. Depois da primeira retirada são necessárias cerca de 2 horas e 30 minutos para se voltar a ter a água a 60°C.

De notar, que a temperatura da água de manhã se encontra abaixo dos 40°C, devido às perdas de calor do reservatório ao longo da noite e pelo facto da resistência elétrica estar desligada da rede. Ou seja, a quantidade de energia necessária para repor a temperatura da água a 60°C é superior do que na situação em que a resistência está sempre ligada à rede elétrica.

- **Redução para 4 painéis**

A redução da quantidade de painéis efetuou-se considerando-se apenas 1 consumidor. O diagrama da figura 41 apresenta a evolução da temperatura da água, num dia típico de verão com apenas 4 painéis ligados.

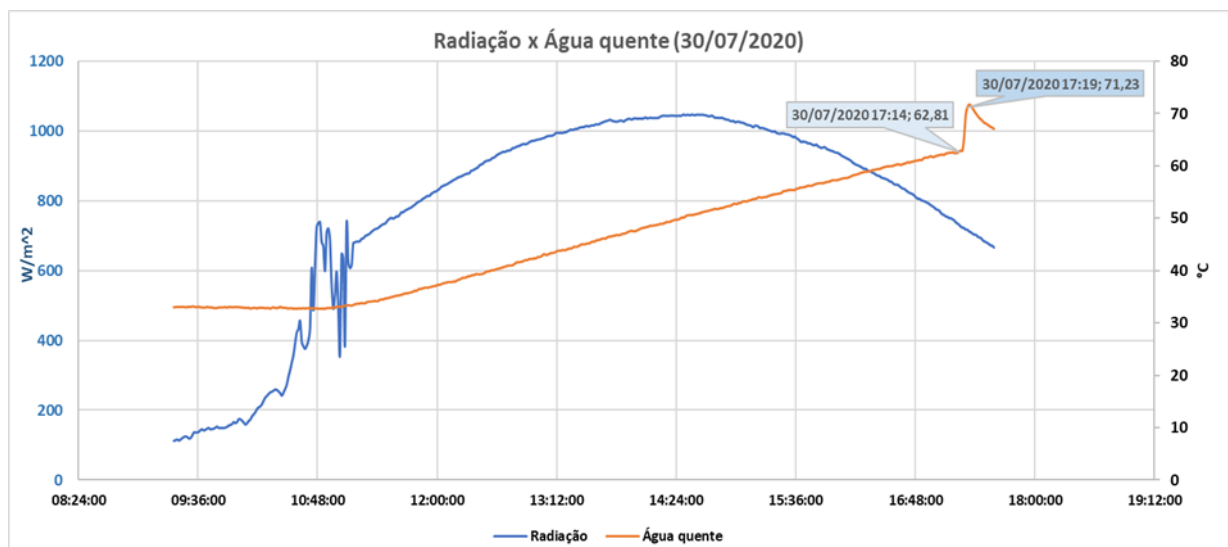


Figura 41 - Gráfico Radiação x Água quente - 4 Painéis

Enquanto com a utilização dos 6 painéis se consegue ter a água quente a 60°C nas horas de pico da radiação e novamente no final da tarde, com a redução da quantidade de painéis verifica-se que só se consegue ter água quente depois das 17 horas.

7.1.2. Dados do Perfil M - Duas Pessoas

Considerando que não se conseguiu ter água quente no período da manhã, para este perfil com o número de consumidores igual a 2, optou-se por reduzir o tempo de retirada de água para 3 minutos, o que resultou num consumo de 40 litros de água em cada retirada.

Para as segundas retiradas de água, realizadas depois das 17 horas, optou-se por retirar a água com temperaturas inferiores, mas próximas a 60°C, porque depois das primeiras retiradas, a temperatura da água desce até aproximadamente 40°C, e a radiação e potência no espaço horário entre as retiradas não era suficiente para reaquecer até a temperatura de 60°C.

O diagrama da figura 42 apresenta os momentos de retirada de água e a evolução da temperatura da água em função da radiação ao longo do dia, onde os marcadores a laranja representam as primeiras duas retiradas de 3 minutos cada e os marcadores a azul representam as duas retiradas de água realizadas às 17 horas.

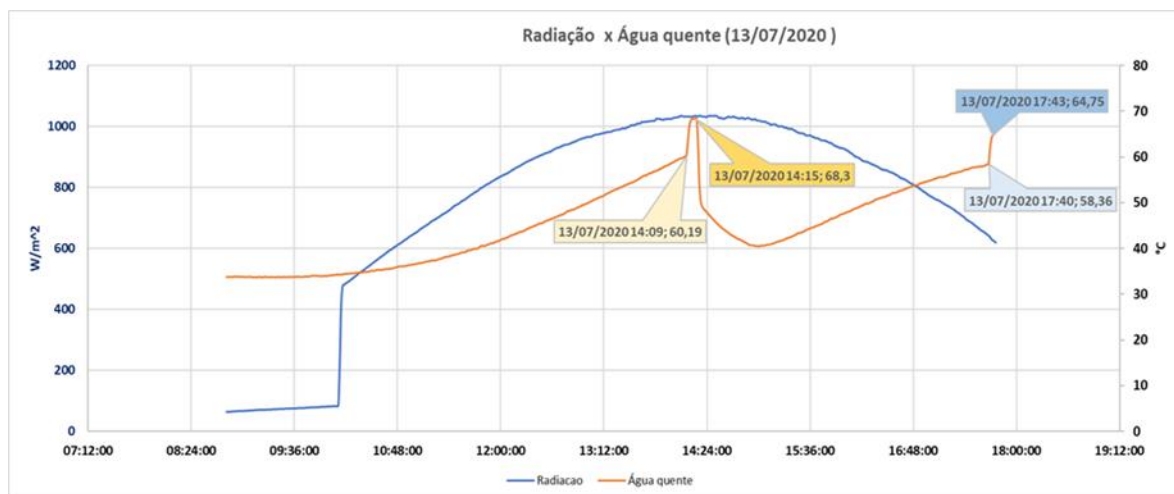


Figura 42 - Gráfico Radiação x Água quente 2 pessoas

Depois das duas primeiras retiradas verifica-se que são necessárias cerca de 3 horas e meia para o reaquecimento da água até a temperatura próxima dos 60°C, ou seja, 1 hora a mais em relação ao que se verifica quando se tem apenas 1 consumidor.

7.1.3 Dados do Perfil L

Neste perfil, foram aplicadas as mesmas condições usadas no perfil M para 2 pessoas: retiradas de 3 minutos, e temperaturas de retiradas inferiores a 60°C nas últimas retiradas.

O diagrama da figura 43, exibe os momentos de retirada de água e a evolução da temperatura da água em função da radiação ao longo do dia.

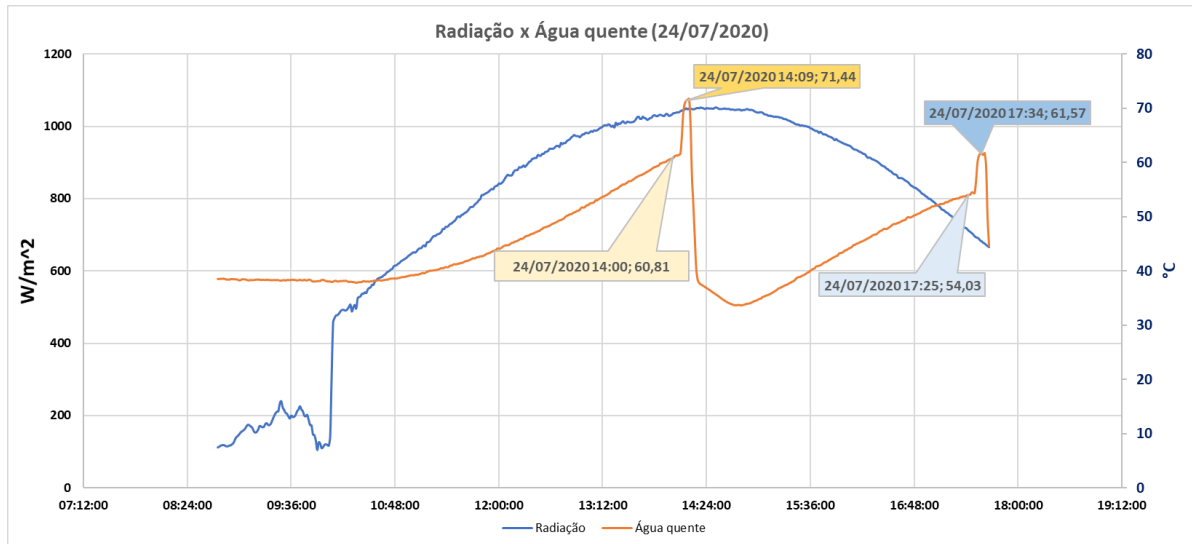


Figura 43 - Gráfico Radiação x Água quente 3 pessoas

Depois das primeiras retiradas, com valores típicos de radiação de um dia de verão, não se consegue voltar a ter 60°C de temperatura à hora das segundas retiradas, tendo-se retirado a água quente a uma temperatura mais baixa (cerca de 54°C) em relação a temperatura de retirada no perfil M para 2 pessoas, depois das 17 horas, como demonstrado na figura 43.

Durante os ensaios realizados com os painéis fotovoltaicos ligados para os perfis M e L, verificou-se que a temperatura da água aumenta até 7°C/hora. No início da manhã os valores de temperatura da água são mais baixos, porque durante os ensaios o reservatório de água não esteve ligado à rede pública de eletricidade.

7.1.4 Dados com o céu nublado

O gráfico da figura 44, apresenta a evolução da temperatura em função da radiação num dia com o céu completamente nublado, em que não se fez nenhuma retirada, somente a observação da evolução da temperatura da água ao longo do dia.

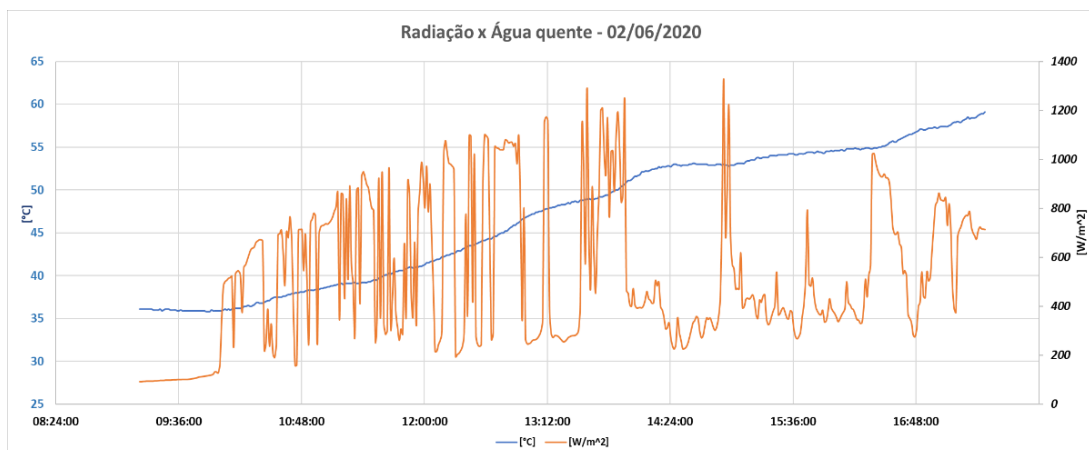


Figura 44 - Evolução da temperatura em função da radiação com céu nublado

Num dia de céu nublado, a média da radiação é de cerca de 500 W/m², valor inferior ao necessário para a verificação de aquecimento de água mais eficiente, verificando-se vários momentos em que os valores da radiação encontram-se entre 200 e 400 W/m². No entanto, verifica-se que a temperatura da água por volta das 17h está próxima da temperatura desejada (60°C) e que a temperatura no início do dia estava pouco acima dos 35°C. De onde se conclui, que mesmo num dia nublado, o sistema consegue elevar a temperatura da água em cerca de 23°C. O que sugere, que num sistema misto, em que a resistência elétrica durante a noite está ligada à rede elétrica mantendo a água a 60°C, os painéis FV podem ter uma contribuição positiva e levando a poupanças de energia, mesmo em dias nublados.

7.2. Análise da energia e da potência do sistema solar FV

Nesta subsecção são apresentados os valores obtidos de potência à saída dos Painéis FV em função da radiação obtida, em dias de céu limpo e nublado. Faz-se também uma comparação entre a potência da resistência elétrica do reservatório e a potência fornecida pelos módulos FV.

Com a aplicação de 6 painéis FV foram recolhidos dados em dias de céu limpo e nublado, e com a aplicação de 4 painéis apenas foram recolhidos dados em dias de céu limpo.

7.2.1. Dados de energia e da potência com 6 painéis fotovoltaicos

7.2.1.1. Dados com céu limpo

A energia FV produzida durante o dia, apresentou valores entre 5,58 e 7,48 kWh. A figura 45 apresenta a quantidade de energia produzida ao longo dos dias de ensaios que decorreram entre os meses de junho e julho de 2020.

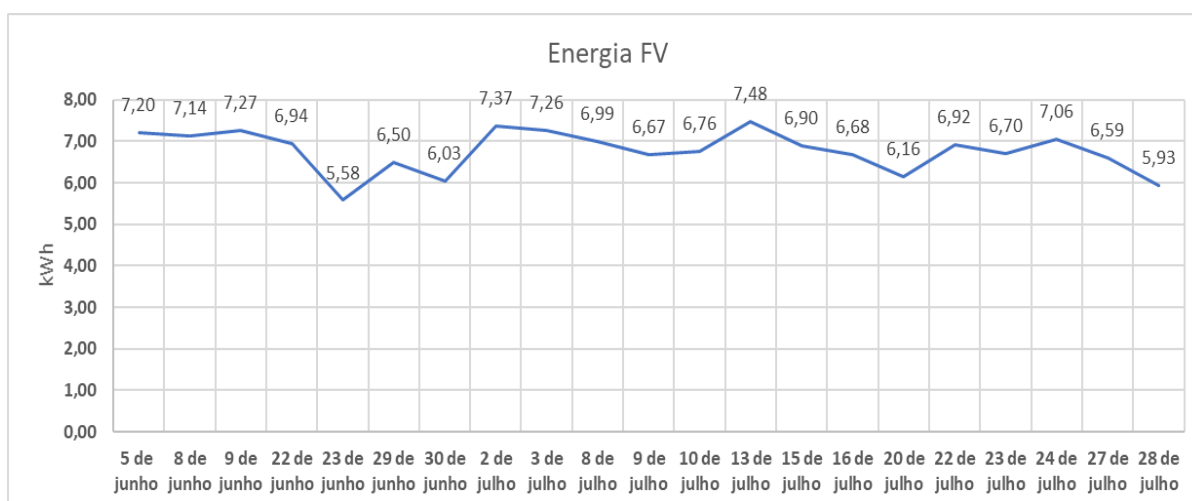


Figura 45 - Energia FV produzida nos dias de ensaios

Nota-se na figura acima que os dias de ensaio não são seguidos, porque, como referido anteriormente, os ensaios decorreram apenas nos dias úteis da semana e com condições

atmosféricas favoráveis, não se tendo considerado nestes dados os dias em que o céu esteve nublado.

Considerando que os módulos FV não produzem energia suficiente para aquecer a água antes da primeira retirada (manhã) e depois da segunda retirada (fim de tarde), contabilizou-se apenas a quantidade energia produzida pelos painéis FV entre a 1^a e a 2^a retirada. A ideia, é verificar quanta energia é fornecida à água pelo sistema FV após a 1^a retirada até ao momento da 2^a retirada. O que permitirá contabilizar a energia elétrica que deixa de ser consumida da rede pública.

A figura 46 apresenta a quantidade de energia produzida pelos módulos FV, entre os dois momentos de retirada de água, onde se registou um valor médio de 6,67kWh, com uma variação de cerca de ± 1 kWh. Este valor médio será usado como o valor de referência de produção de energia solar FV durante 6 meses nos cálculos da análise viabilidade económica do sistema no capítulo 8, para 6 painéis.

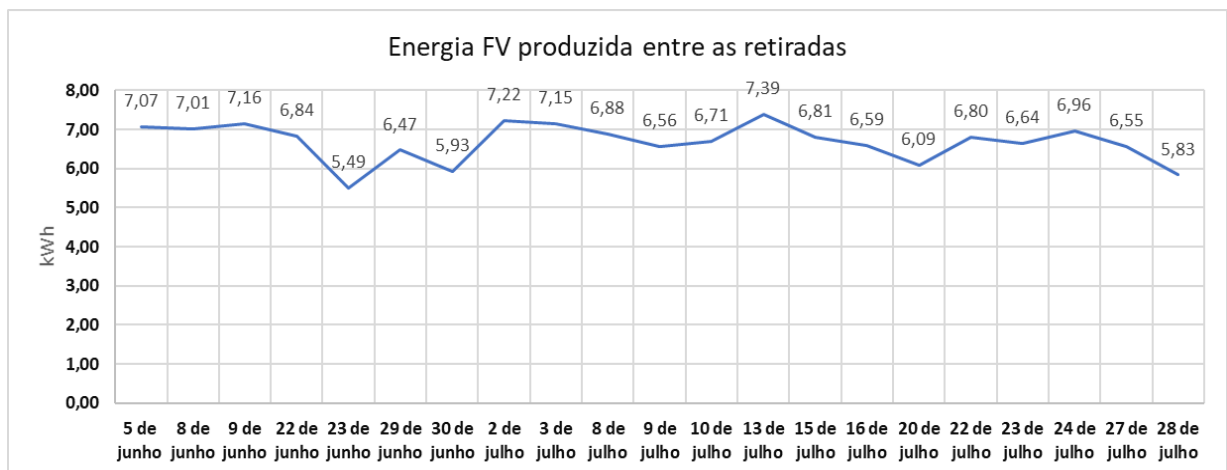


Figura 46 - Energia FV produzida entre as retiradas

O diagrama da figura 47 apresenta os valores de potência obtidos em função da radiação, num dia de céu limpo, em que se obteve o valor de energia máxima (7,39 kWh).

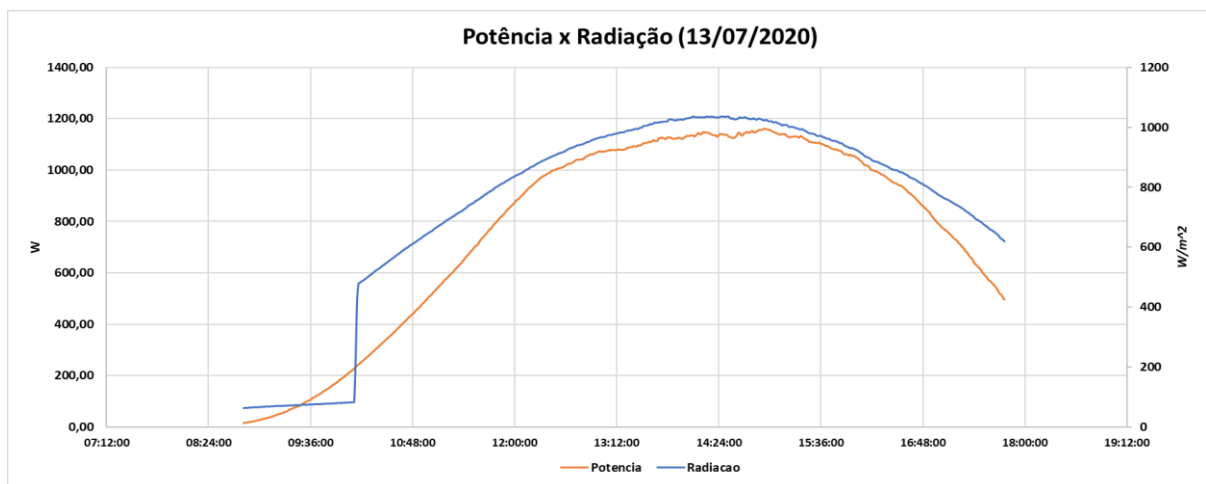


Figura 47 - Gráfico Radiação x Potência, dia de produção energia FV máxima

Neste dia, durante o período de ensaio, foi registado o valor máximo de 1036 W/m^2 e médio de $740,33 \text{ W/m}^2$ para a radiação. Quanto à potência, registou-se o valor máximo de $1161,24 \text{ W}$ e médio de $771,27 \text{ W}$.

O diagrama da figura 48 apresenta os valores de potência obtidos em função da radiação, num dia de céu limpo, em que se obteve o valor de energia médio ($6,71 \text{ kWh}$).

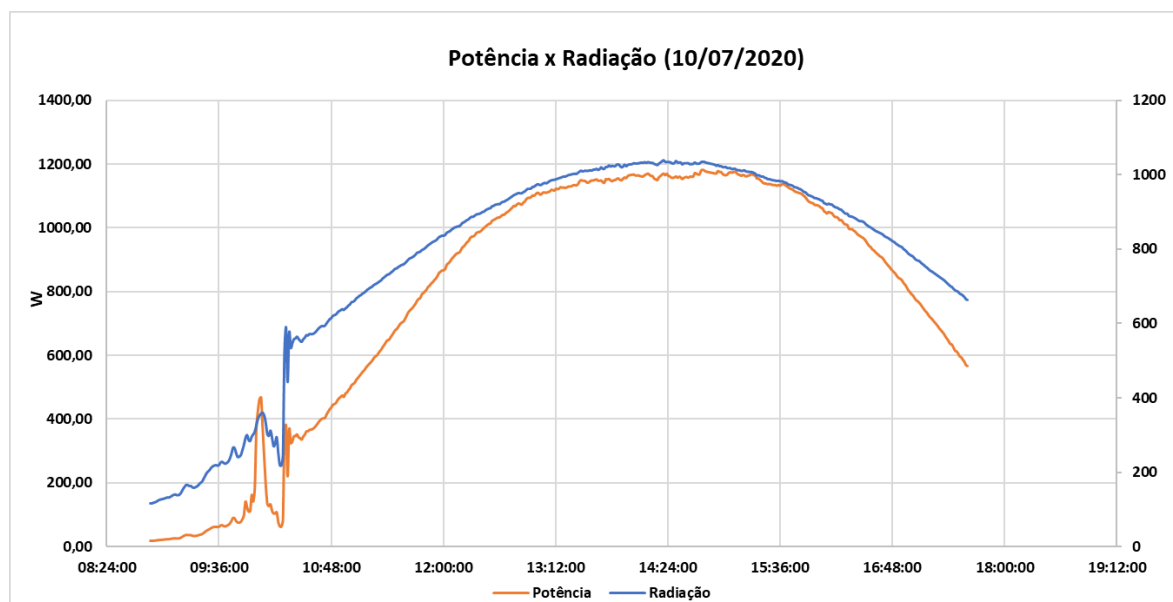


Figura 48 - Gráfico Radiação x Potência, dia de produção energia FV média

Neste dia, durante o período de ensaio, foi registado o valor máximo de 1040 W/m^2 e médio de $764,90 \text{ W/m}^2$ para a radiação. Quanto à potência, registou-se o valor máximo de $1183,67 \text{ W}$ e médio de $787,11 \text{ W}$.

O diagrama da figura 49 apresenta os valores de potência obtidos em função da radiação, num dia de céu limpo, em que se obteve o valor de energia mínimo ($5,49 \text{ kWh}$).

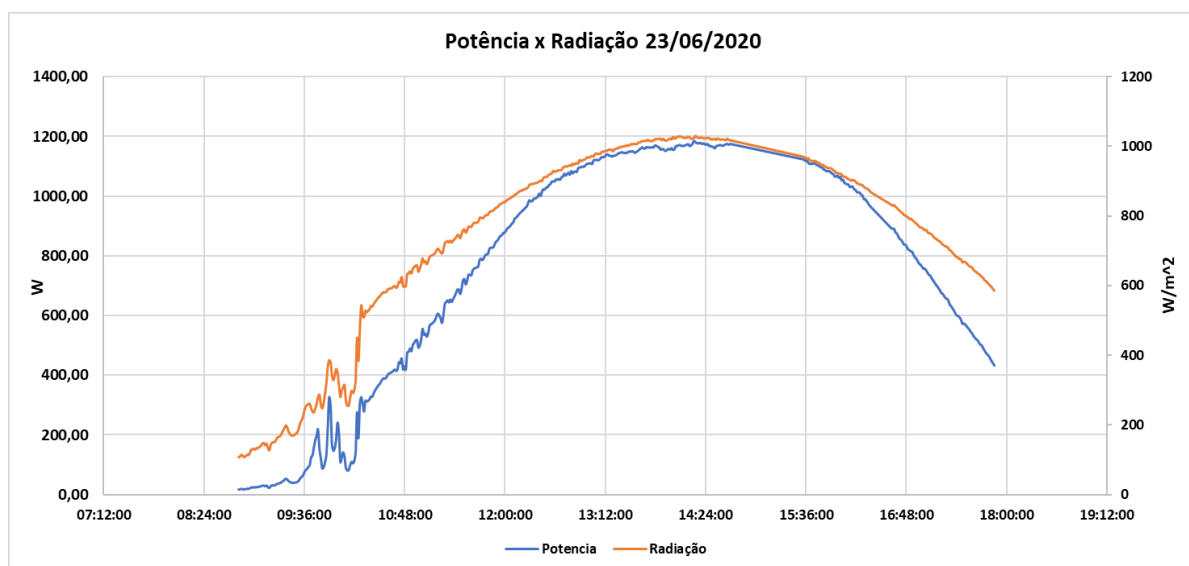


Figura 49 - Gráfico Radiação x Potência, dia de produção energia FV mínima

Neste dia, durante o período de ensaio, foi registado o valor máximo de 1029 W/m^2 e médio de $727,54 \text{ W/m}^2$ para a radiação. Quanto à potência, registou-se o valor máximo de $1185,75 \text{ W}$ e médio de $729,75 \text{ W}$.

Nos gráficos acima apresentados da potência em função da radiação, verificou-se que a potência máxima é sempre um valor próximo dos 1200 W , e que a quantidade de energia produzida difere nestes dias por causa das condições atmosféricas durante a manhã, em que se tem o céu parcialmente nublado.

A tabela 15 apresenta a média dos valores mínimos, máximos e médios da corrente, da tensão, da potência e radiação obtidos durante os ensaios nos dias de céu limpo com a utilização de 6 painéis fotovoltaicos de 250 W de potência cada.

Tabela 15 - Valores médios de corrente, tensão, radiação e potencia com céu limpo

	Corrente [A]	Tensão [V]	Potência [W]	Radiação [W/m^2]
mínimo	1,31	24,12	37,11	88,10
médio	6,94	136,77	958,61	870,56
máximo	7,79	154,26	1200,97	1049,67

O gráfico da figura 50, faz uma comparação entre a potência consumida pelo reservatório (da rede elétrica) e a potência fornecida pelos módulos FV. Os dados que fazem parte deste gráfico são de dias de céu limpo, sendo que o gráfico da potência da rede corresponde ao dia 26 de maio de 2020, e o gráfico da potência FV corresponde ao dia 13 de julho de 2020.

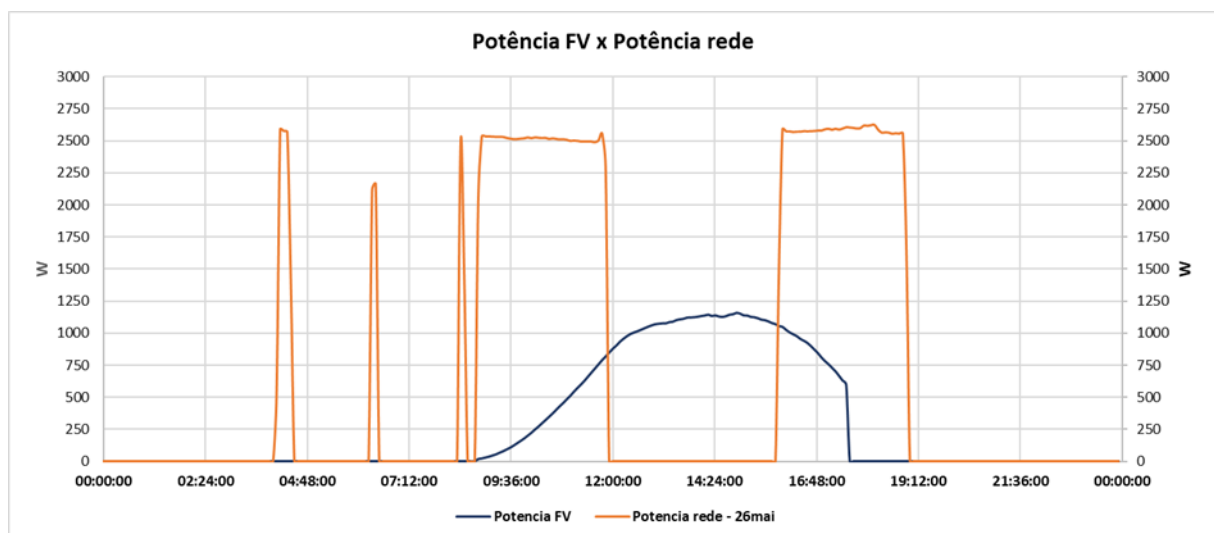


Figura 50 - Comparação entre a potência da rede e a fornecida pelo FV

Observa-se na figura 50 que o pico de produção de energia solar FV é durante o período de aquecimento da água entre os dois momentos de retirada de água quente, o que significa que os módulos FV conseguem reaquecer a água, embora levem mais tempo. No caso particular da

figura 50, foram consumidos 8,47 kWh para reaquecer a água e o sistema FV forneceu 7,39 kWh até ao momento da 2ª retirada.

Os valores máximos apresentados são registados a hora do pico de sol como referido anteriormente, momento em que se regista um aquecimento mais acelerado da água. Os mínimos são registados no período da manhã e no período das 17 horas. É a partir do momento em que se regista 100 V de tensão que se começa a registar o aquecimento de água no período da manhã, depois das 10 horas.

7.2.1.2. Dados com céu nublado

O diagrama da figura 51 apresenta os valores de potência obtidos em função da radiação, num dia de céu nublado.

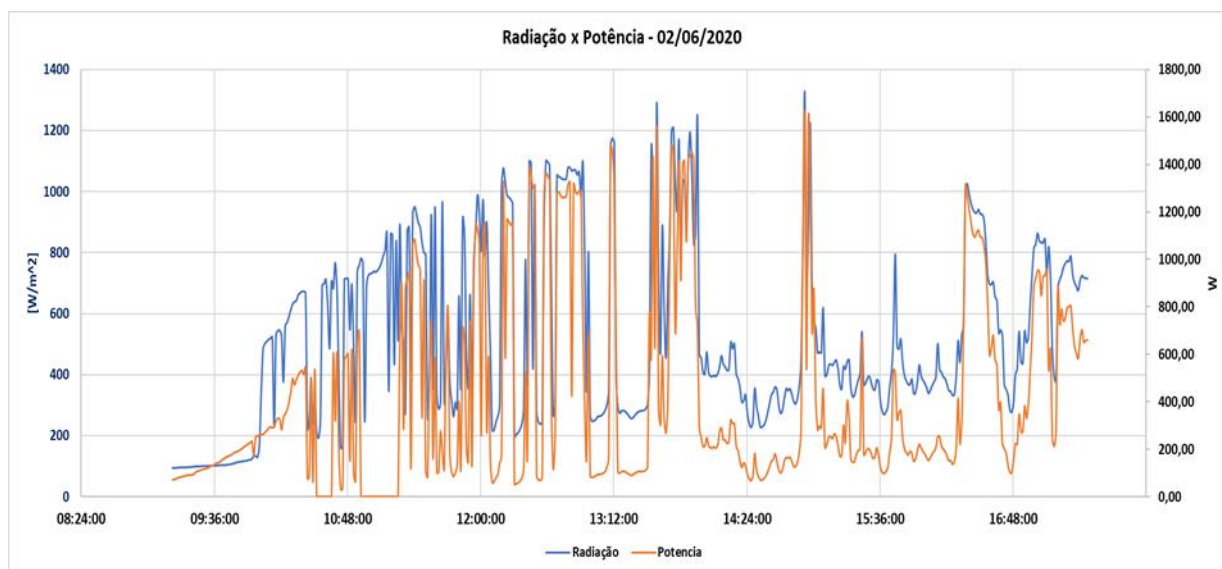


Figura 51 - Gráfico Potência x Radiação com céu nublado

Quanto à potência, em dias como estes, a média dos valores de potência é de cerca de 400W podendo ser mais baixa atingindo os 200 W.

A figura 52 apresenta os valores de energia obtidos durante os dias em que se recolheu dados de dias com céu nublado, onde se obteve uma média de 2,93 kWh. Este valor médio de produção de energia solar FV será usado como valor de referência para os restantes 6 meses na análise da viabilidade económica do sistema no capítulo 8.

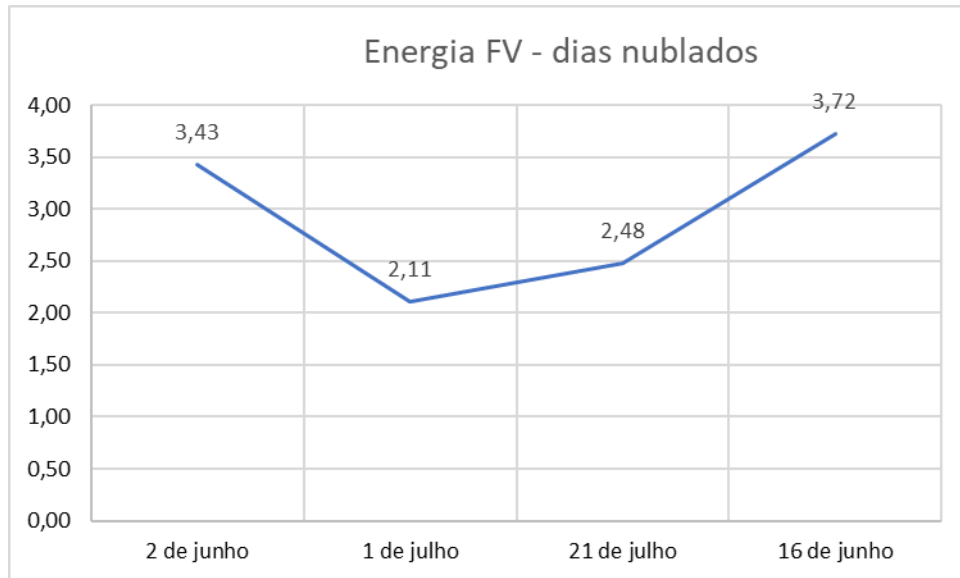


Figura 52 - Energia FV em dias nublados

7.2.2. Dados de energia e da potência com 4 painéis fotovoltaicos

A tabela 16 apresenta a média dos valores mínimos, máximos e médios da corrente, tensão, potência e radiação obtidos num dia de céu limpo com a utilização de 4 painéis fotovoltaicos de 250W de potência cada.

Tabela 16 - Valores médios de corrente, tensão, radiação e potencia com 4 painéis

	Corrente [A]	Tensão [V]	Potência [W]	Radiação [W/m ²]
mínimo	1,20	21,92	27,58	143,33
médio	5,83	112,36	654,78	918,83
máximo	6,03	115,54	696,54	1064,00

Comparativamente aos valores apresentados com 6 painéis, nas mesmas condições, na tabela 16 verifica-se uma redução do valor da potência em cerca de 40%, cerca de 20% do valor da corrente e cerca de 25% do valor da tensão.

O gráfico da figura 53, apresenta a energia fornecida pelos módulos FV, durante o dia até às 17h30, mostrando que em média, com 4 módulos FV, consegue-se ter 4,5 kWh durante o horário em que se realizaram os ensaios.

O mesmo gráfico apresenta a energia produzida com 4 módulos FV no período entre as retiradas, onde se verifica que em média consegue-se produzir cerca de 3,68 kWh de energia para aquecer a água até ao momento da 2ª retirada de água quente. Este valor será utilizado como o valor de referência de produção de energia solar FV durante 6 meses nos cálculos da análise da viabilidade do sistema no capítulo 8, para 4 painéis FV.

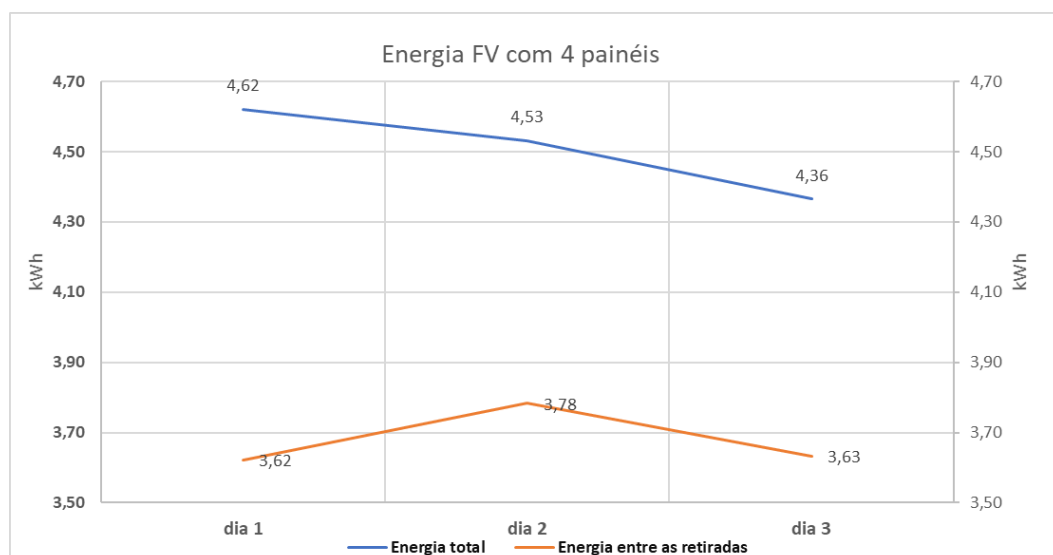


Figura 53 - Energia FV fornecida por dia, com 4 painéis

7.3. Notas conclusivas

Pela análise dos resultados apresentados ao longo deste capítulo, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- Utilizando a energia solar fotovoltaica para o aquecimento da água, só é possível registrar aquecimento da água através deste recurso a partir das 10 horas, momento em que se regista uma radiação de 600 W/m² e tensão de 100V.
- Quando se verifica uma tensão de aproximadamente 100V ou superior e valores de radiação próximos a 600 W/m² a temperatura da água aumenta em 7°C/hora.
- O ensaio feito durante os dias de céu nublado, ou seja, dias com baixa radiação, ilustra que a água pode levar o dia todo para atingir os 60°C, sendo que há probabilidade de isso por vezes não acontecer se os valores da radiação forem inferiores a 200 W/m².

Como referido ao longo do capítulo e após análise dos dados vai ser considerado que o sistema FV produz em média 6,67 kWh com 6 painéis FV e 3,68 kWh com 4 painéis FV até ao momento da 2ª retirada para dias com sol (6 meses). Para os dias nublados vai ser considerado que o sistema FV produz em média 2,93 kWh até ao momento da 2ª retirada (restantes 6 meses).

8. ANÁLISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a análise da viabilidade económica do sistema de AQS alimentado diretamente por painéis FV dedicados apenas a este sistema. Como referido anteriormente, este sistema tem como particularidade o facto de a resistência elétrica de aquecimento da água ser alimentada diretamente do sistema FV em tensão contínua, sem que haja necessidade de utilizar um inversor para fazer a conversão para tensão alternada.

Na secção 8.1 deste capítulo é feita uma análise energética, comparando-se a energia necessária para fazer o aquecimento da água consoante o perfil de consumo (capítulo 6) com a energia que o sistema solar FV consegue fornecer até ao momento da 2ª retirada de água (fim de tarde).

Na secção 8.2, são determinados o *payback*, o VAL e a TIR do sistema de produção de AQS elétrico estudado, com painéis solar fotovoltaicos.

8.1. Análise energética

Nesta secção é feita uma análise energética do sistema em estudo, fazendo-se uma comparação entre a energia consumida da rede elétrica e aquilo que se poderá poupar em kWh com a utilização dos painéis FV, para o cenário de duas retiradas de água por dia.

Para cada um dos Perfis de consumo estudados é apresentado o consumo de energia para AQS medido durante 7 dias, e a energia consumida durante o processo de aquecimento da água entre os 2 momentos de retirada, ou seja, até ao momento imediatamente antes da 2ª retirada. Esta última vai ser comparada com a energia produzida pelo sistema FV, de forma a verificar se o sistema FV produz energia suficiente para fazer o aquecimento da água até à 2ª retirada do fim de tarde. Considerou-se que o sistema FV já não tem contribuição para o aquecimento da água após a 2ª retirada de água quente.

Como referido no capítulo 7 vai ser considerado que o sistema FV produz em média 6,67 kWh com 6 painéis FV e 3,68 kWh com 4 painéis FV até ao momento da 2ª retirada para dias com sol. Para os dias nublados vai ser considerado que o sistema FV produz em média 2,93 kWh até ao momento da 2ª retirada.

8.1.1. Perfil M

As tabelas que se seguem, 17 e 18, apresentam o consumo de energia para AQS durante 7 dias, e a energia consumida durante o processo de aquecimento da água entre os 2 momentos de retirada, ou seja, até ao momento imediatamente antes da 2ª retirada, para o perfil M.

Nas mesmas tabelas, é apresentada a energia média diária produzida pelos módulos fotovoltaicos no período de reaquecimento, e a percentagem de energia que se pode poupar durante o período entre as retiradas de água com a utilização da energia FV.

Os valores de energia que são apresentados, são de um cenário em que se tem duas retiradas de água quente por dia.

Tabela 17 - Consumo de energia - 1 pessoa

1 pessoa			
	ENERGIA (kWh)	energia de aquecimento entre as retiradas (kWh)	média de energia fornecida pelo FV, no período de aquecimento (kWh)
1	8,03	3,84	6,67
2	9,78	2,70	
3	7,81	2,76	
4	10,43	4,00	
5	10,71	3,91	percentagem da energia coberta pelo FV
6	9,60	3,00	
7	8,18	1,82	34,13%
Semanal (kWh)	64,54	22,03	
média diária (kWh)	9,22	3,15	

Tabela 18 - Consumo de energia - 2 pessoas

2 pessoas			
	ENERGIA kWh	energia de aquecimento entre as retiradas	média de energia fornecida pelo FV, no período de aquecimento [kWh]
1	12,41	4,03	6,67
2	14,52	5,68	
3	14,59	5,77	
4	12,76	5,32	
5	14,43	5,84	percentagem da energia coberta pelo fv
6	14,41	5,49	
7	13,11	4,40	37,95%
Semanal (kWh)	96,23	36,52	
Média diária (kWh)	13,75	5,22	

A energia média produzida pelos módulos FV, durante o período entre os dois momentos de retiradas, no caso do perfil M, é suficiente para reaquecer a água para a segunda retirada de água, embora leve mais tempo para reaquecer a água.

As horas de maior produção de energia fotovoltaica coincidem com o período entre as retiradas. No caso do perfil M, com 6 painéis, a energia FV produzida nesse período é superior à necessária, e por isso, determinou-se que a energia fornecida pelos módulos FV é igual à energia elétrica necessária, que é de 3,15 kWh para 1 pessoa e de 5,22 kWh para 2 pessoas.

A tabela 19 mostra que é possível ter água aquecida com 4 painéis, para 1 consumidor.

Tabela 19 - Consumo de energia – 1 pessoa com 4 painéis

1 pessoa - 4 painéis			
	ENERGIA KWh	energia de aquecimento entre as retiradas [kWh]	média de energia fornecida pelo FV, no período de aquecimento
1	8,03	3,84	3,68
2	9,78	2,70	2,70
3	7,81	2,76	2,76
4	10,43	4,00	3,68
5	10,71	3,91	3,68
6	9,60	3,00	3,00
7	8,18	1,82	1,82
Semanal (kWh)	64,54	22,03	21,32
Média diária (kWh)	9,22	3,15	3,05

No caso do perfil M, com 4 painéis, a energia FV produzida nesse período é inferior à energia necessária. Neste caso vai ser somente considerado o valor de 3,05 kWh (média diária de energia solar FV que poder ser fornecida) para a análise da viabilidade económica do sistema.

8.1.2. Perfil L

A tabela 20, apresenta o consumo de energia durante 7 dias úteis, e a energia consumida durante o processo de aquecimento da água entre os 2 momentos de retirada, para o perfil L.

É apresentada a energia média diária produzida pelos módulos fotovoltaicos no período de reaquecimento, que representa a quantidade de energia elétrica que pode ser fornecida pelos módulos FV durante o período entre as retiradas de água.

A tabela 20 apresenta dados para o cenário em que se faz retiradas de manhã e a tarde.

Tabela 20 - Consumo de energia - 3 pessoas

3 pessoas			
	ENERGIA KWh	energia de aquecimento entre as retiradas	média de energia fornecida pelo FV, no período de aquecimento [kWh]
1	14,20	5,20	5,20
2	19,93	11,31	6,67
3	19,42	11,17	6,67
4	14,33	10,56	6,67
5	16,63	8,47	6,67
6	17,98	8,60	6,67
7	14,79	9,10	6,67
Semanal (kWh)	117,28	64,41	45,24
média diária (kWh)	16,75	9,20	6,46

No caso do perfil L, a energia FV produzida no período entre as retiradas, não é suficiente para aquecer totalmente a água até ao momento da segunda retirada. Neste caso vai ser somente considerado o valor de 6,46 kWh para a análise da viabilidade económica do sistema.

8.2. Análise económica

Nesta secção são determinados o *payback*, o VAL e a TIR do Sistema de AQS estudado. Para o efeito são necessários obter os custos de investimento do sistema assim como determinar o custo poupado com a eletricidade devido à utilização de Painéis FV.

São considerados dois custos de investimento distintos. Um em que é feita a aquisição do sistema completo, incluindo o reservatório com resistência elétrica (termoacumulador), e outro sem o reservatório.

A consideração do investimento sem reservatório pode acontecer em duas situações distintas. O consumidor vai adquirir o sistema de AQS pela primeira vez e pode optar entre o termoacumulador elétrico normal ou o termoacumulador elétrico com painéis FV. A outra situação, é já existir um termoacumulador elétrico instalado e ser possível adaptar ao sistema instalando somente os painéis FV. Nestas situações considerou-se que não se devia entrar com o custo do reservatório na análise económica.

A tabela 21 apresenta os custos de investimento do sistema com o reservatório incluído e sem o reservatório, para 4 e 6 painéis solares FV. Estes valores são valores de mercado e foram fornecidos pelo CTCV.

Tabela 21 - Custos do investimento do sistema

Investimento	4 paineis	6 paineis
com reservatório	€ 1 600,00	€ 2 000,00
sem reservatório	€ 950,00	€ 1 350,00

Dado este orçamento, foi feita a análise do tempo de retorno do investimento não se considerando a evolução do preço da tarifa de eletricidade e a diminuição do rendimento dos painéis ao longo dos anos, visto que a garantia dada pelos fabricantes dos painéis FV é de 25 anos, o que significa que garantem o rendimento não baixa para além dos 80% durante esse período.

Para determinar a poupança de custos teve-se em consideração que durante a estação do inverno, o nível de aproveitamento da energia solar fotovoltaica é menor devido a baixa radiação, e por isso, para efeito de cálculo, considerou-se que o valor médio de energia FV obtido durante os ensaios, seria produzido durante meio ano (6,67 kWh), e nos restantes seis meses, considerou-se o valor médio de energia calculado para dias nublados (2,93 kWh). No caso em que se tem apenas 4 módulos FV, considerou-se o valor de 3,05 kWh para meio ano, e para o restante do ano considerou-se o valor para dias nublados.

As tarifas de eletricidade aplicadas correspondem a uma potência contratada até 6,90kVA. A tabela 22 apresenta os valores das tarifas simples e bi-horária sem o valor do IVA de 23%.

Tabela 22 - Preço das tarifas de energia (Adaptado da ERSE, 2020)

tarifa de energia		Horário	EUR/kWh
simples		Todo o dia	0,1543
bi-horaria	horas de vazio	22h - 8h	0,1013
	horas fora de vazio	8h - 22h	0,1873

Tendo em conta que o aproveitamento da energia solar fotovoltaica é feito durante o dia, e que no caso em que é aplicada a tarifa bi-horário, este aproveitamento coincide com o horário fora de vazio onde a energia é mais cara (0,1873€/kWh), para efeito de cálculo do payback considerou-se apenas o valor da tarifa para as horas fora de vazio.

Para o cálculo do tempo de retorno do investimento em anos, recorreu-se à seguinte fórmula:

$$Payback = \frac{\text{Investimento da instalação}}{\frac{kWh}{ano} * (\text{tarifa de energia} * IVA 23\%)} \quad (4)$$

Além do *payback*, são calculados a TIR (Taxa Interna de Rentabilidade) e o VAL (Valor Atual Líquido). O VAL representa a diferença entre as entradas e saídas do dinheiro, atualizadas durante o tempo de vida útil do empreendimento, que caso seja positivo significa que o projeto é viável e se for negativo, não é viável.

A TIR, representa a rentabilidade gerada por um determinado investimento, ou seja, representa uma taxa de juro, que se o capital investido for colocado a essa taxa, obtém-se a mesma taxa de rentabilidade ou superior para se considerar o projeto viável.

Para o cálculo destes dois indicadores económicos recorreu-se a função de cálculo automático da TIR e VAL disponível no Excel onde se aplicaram taxas de atualização de 5% e 10%.

Foi considerado o tempo de vida útil do sistema de 25 anos para o cálculo do VAL e da TIR.

8.2.1. Análise económica sem aquisição do reservatório

No cálculo do *payback* não se teve em consideração o tempo de retorno para 2 e 3 consumidores com 4 painéis, porque não se efetuaram ensaios para esses perfis com 4 módulos FV.

A tabela 23 apresenta os tempos de retorno do investimento em anos, considerando-se uma tarifa de energia simples.

Tabela 23 - Payback com tarifa simples

Retorno com tarifa simples (em anos)			
		4 painéis	6 painéis
perfil M	1 pessoa	4,58	6,41
	2 pessoas		4,78
perfil L	3 pessoas		4,15

A tabela 24 apresenta os tempos de retorno do investimento em anos, considerando-se uma tarifa de energia bi-horária.

Tabela 24 - Payback com tarifa bi-horária

Retorno com tarifa bi-horária (em anos)			
		4 painéis	6 painéis
perfil M	1 pessoa	3,78	5,28
	2 pessoas		3,94
perfil L	3 pessoas		3,34

Observando-se as tabelas 23 e 24, e considerando que a vida útil dos painéis é de 25 anos, pode-se concluir que o sistema em análise é viável. Os tempos de retorno (payback) variam entre 4 e 6,5 anos considerando a tarifa simples para a eletricidade e entre 3,4 a 5,3 anos considerando a tarifa bi-horária. Pela análise dos resultados também se pode concluir que para uma pessoa a instalação de 4 painéis FV seria suficiente.

Colocando-se o foco sobre as tarifas de energia, com a aplicação da tarifa bi-horária, o tempo de retorno é menor uma vez que durante o dia a energia é mais cara.

Quanto a TIR e o VAL, obtiveram-se os resultados apresentados nas tabelas 25 e 26, quando se tem 6 painéis, 27 quando se tem 4 painéis.

Tabela 25 - VAL e TIR para 6 painéis - tarifa simples

		Tarifa simples - 6 painéis		
		VAL		TIR
Perfil M	1 pessoa	1 541,68 €	510,91 €	15,14%
	2 pessoas	2 504,20 €	1 102,63 €	20,73%
Perfil L	3 pessoas	3 083,47 €	1 458,74 €	24,00%
		5%	10%	

Tabela 26 - VAL e TIR para 6 painéis - tarifa bi-horária

		Tarifa bi-horária - 6 painéis		
		VAL		TIR
Perfil M	1 pessoa	2 146,38 €	882,65 €	18,68%
	2 pessoas	3 314,74 €	1 600,92 €	25,30%
Perfil L	3 pessoas	4 017,90 €	2 033,20 €	29,22%
		5%	10%	

Tabela 27 - VAL e TIR para 4 painéis - tarifa simples e bi-horária

		Tarifa bi-horária - 4 painéis		
		VAL		TIR
Perfil M	1 pessoa	2 091,55 €	848,95 €	18,36%
		Tarifa simples - 4 painéis		
		2 051,34 €	812,31 €	17,83%
		5%	10%	

Os cálculos da TIR e do VAL comprovam que o projeto é viável economicamente, quer o VAL apresenta valores positivos como a TIR apresenta valores entre os 17 e 29%. De realçar que os resultados mais favoráveis são para o Perfil L – 3 pessoas, visto haver um maior consumo de água quente e o investimento ser amortizado mais rapidamente.

8.2.2. Análise económica com aquisição do reservatório

Considerando a hipótese de ser necessário adquirir um termoacumulador elétrico, fez-se o cálculo do retorno do investimento considerando o preço da aquisição do termoacumulador, para uma capacidade de 180 litros que está estimado em 650 euros.

As tabelas 28 e 29 apresentam o tempo de *payback* incluindo no investimento o preço do reservatório, para as tarifas simples e bi-horária.

Tabela 28 - *Payback* com tarifa simples e custo do reservatório

Retorno com tarifa simples (em anos)			
Retorno com custo do reservatório		4 painéis	6 painéis
perfil M	1 pessoa	7,72	9,49
	2 pessoas		7,08
perfil L	3 pessoas		6,14

Tabela 29 - *Payback* com tarifa bi-horária e custo do reservatório

Retorno com tarifa bi-horária (em anos)			
Retorno com o custo do reservatório		4 painéis	6 painéis
perfil M	1 pessoa	6,26	7,82
	2 pessoas		5,84
perfil L	3 pessoas		4,95

Quanto a TIR e o VAL, obtiveram-se os resultados apresentados nas tabelas 30 e 31, quando se tem 6 painéis, e na tabela 32 quando se tem 4 painéis.

Tabela 30 - VAL e TIR com reservatório para 6 painéis - tarifa simples

		Tarifa simples - 6 painéis com reservatório		
		VAL		TIR
Perfil M	1 pessoa	922,64 €	-80,00 €	9,42%
	2 pessoas	1 885,15 €	511,72 €	13,53%
Perfil L	3 pessoas	2 464,42 €	867,83 €	15,87%
		5%	10%	

Tabela 31 - VAL e TIR com reservatório para 6 painéis - tarifa bi-horária

		Tarifa bi-horária - 6 painéis com reservatório		
		VAL		TIR
Perfil M	1 pessoa	1 527,33 €	291,74 €	12,04%
	2 pessoas	2 695,70 €	1 010,01 €	16,78%
Perfil L	3 pessoas	3 398,85 €	1 442,29 €	19,53%
		5%	10%	

Tabela 32 - VAL e TIR com reservatório para 4 painéis - tarifa bi-horária e simples

		Tarifa bi-horária - 4 painéis		
		VAL		TIR
Perfil M	1 pessoa	1 472,51 €	258,04 €	11,81%
		Tarifa simples - 4 painéis		
		1 432,30 €	221,40 €	11,53%
				5%

Ainda com o custo da aquisição do termoacumulador, o tempo de retorno do investimento, embora menos, continua favorável com período de *payback* entre 5 e 9,5 anos. Com a exceção do resultado apresentado no Perfil M, com 1 consumidor, em que o VAL é negativo. Para além de se considerar que a instalação de 4 painéis FV seria suficiente para um consumidor, também se pode referir que não seria necessário um termoacumulador de 180 l.

Pode-se considerar, que mesmo com o investimento adicional do termoacumulador, o projeto é viável, notando-se que os melhores resultados são observados quanto maior for o número de consumidores, neste caso no Perfil L, em que o tempo de retorno é de cerca de 5 ou 6 anos e que a TIR ao fim dos 25 anos é de cerca de 16% ou 20%, consoante a tarifa de eletricidade utilizada.

O sistema de aquecimento de água que é o objeto de estudo deste projeto é viável, sendo possível haver melhorias que são sugeridas para trabalhos futuros que serão apresentadas no Capítulo 9 deste documento.

9. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Atendendo que o estágio curricular foi desenvolvido no CTCV, que é uma entidade de consultoria especializada e auditoria, de formação profissional, de medição e ensaio e que apresenta soluções de Investigação, Desenvolvimento e Tecnologia (IDT), este estágio não se tratou de um estágio dito convencional, em que o estagiário passa pelos vários subsectores de uma empresa industrial.

Nesse sentido, neste capítulo são apresentadas as conclusões retiradas sobre um projeto que foi desenvolvido durante o estágio curricular realizado no CTCV, tendo como base os objetivos traçados no início do estágio. Posteriormente, são apresentadas sugestões de melhoria para implementar em trabalhos futuros no âmbito do projeto do sistema de aquecimento de AQS com recurso a painéis fotovoltaicos que foi desenvolvido e estudado.

9.1. Conclusão

O estágio curricular teve como principal objetivo a montagem e o estudo de uma instalação experimental para avaliar a viabilidade da aplicação de um sistema de aquecimento de água elétrico para uso doméstico, com recurso a painéis fotovoltaicos (FV). Esta instalação, tem como particularidade de a alimentação elétrica do reservatório de água dos painéis FV ser feita ser diretamente em tensão e corrente contínua (CC), sem o uso de inversores de corrente que é um equipamento utilizado nos sistemas convencionais FV, tornando a instalação menos dispendiosa.

Comprovada a necessidade de diversificação dos recursos energéticos para reduzir o impacto ambiental e em simultâneo fazer com que toda população mundial tenha acesso a energia para a realização das suas atividades diárias, uma vez que o número da população global tende sempre a subir, este projeto representa mais uma possibilidade de aproveitamento de energias renováveis em edifícios. Em concreto, trata-se de um sistema alternativo de produção de AQS com aproveitamento de energia solar fotovoltaica, que não é comercializado no mercado.

Aquando da montagem da instalação experimental, foram tidas em consideração as normas de ensaio de reservatórios de água definida na legislação. Foram realizados diversos ensaios, com e sem os painéis FV ligados, onde foram medidos os consumos da energia elétrica proveniente da rede e também medida a energia produzida pelos painéis FV em períodos distintos. Nos ensaios foram considerados diferentes perfis de consumo (Perfil M para uma e duas pessoas e Perfil L para 3 pessoas) e dois cenários de tiragem de água quente para banho (uma vez por dia e duas vezes por dia). O sistema de aquecimento de AQS com recurso a energia solar fotovoltaica, que foi o objeto de estudo, mostrou-se um sistema viável durante o tempo de análise da instalação experimental, mostrando que é possível ter água quente com a utilização de 4 ou 6 painéis FV com potência unitária de 250W desde que se verifiquem valores de radiação superiores a 200 W/m². No entanto é a partir de valores de radiação iguais ou superiores a 600 W/m² e 100V de tensão que se consegue tirar maior proveito dos painéis FV

para o aquecimento da água, visto que a partir destes valores a temperatura da água aumenta em cerca de 7°C por hora.

Embora o custo de aquisição dos painéis fotovoltaicos seja um custo adicional, representa um bom investimento visto que tem uma vida útil de 25 anos e um tempo de retorno do investimento entre 4 e 6,5 anos sem a aquisição do reservatório, e entre 5 e 9,5 anos quando se inclui o custo de aquisição do reservatório, dependendo do perfil de consumo e número de consumidores considerados. Os valores do VAL e da TIR são valores bastante positivos, o que vem reforçar a viabilidade de aplicação de este tipo de sistemas. Os valores menos favoráveis são para 6 painéis FV para o Perfil M - 1 consumidor, o que permite concluir que a instalação de 4 painéis FV seria suficiente nesta situação e que também não seria necessário um termoacumulador de 180 l.

Conclui-se também que os 6 painéis fotovoltaicos podem fornecer pelo menos 30% da energia necessária para AQS, sendo mais vantajosa a sua aplicação quanto maior for o número de consumidores, neste caso em concreto para o Perfil L – 3 consumidores.

Os objetivos definidos para este trabalho foram atingidos, tendo-se verificado de forma positiva a viabilidade do sistema em estudo. O subcapítulo 9.2 apresenta algumas propostas de melhoria do sistema em análise para obtenção de melhores resultados.

9.2. Sugestões para trabalhos futuros

Apesar de se ter comprovado a viabilidade do sistema, durante o tempo em que esteve a ser estudado, verificaram-se alguns elementos que podem ser implementados em trabalhos futuros tais como:

- Aplicação de uma válvula misturadora: fazer-se com que a saída da água haja a possibilidade de se misturar a água fria da rede com a água quente do reservatório, baixando a temperatura da água a saída para 40°C.
- Aumento da quantidade de painéis FV para reduzir o tempo de aumento de temperatura em °C por hora, de modo a ter água quente mais cedo e por mais tempo.
- Realizar o ensaio com o sistema fotovoltaico ligado a rede pública de energia elétrica, no inverno e verão, para funcionar como sistema de apoio, de maneira que haja sempre água quente.
- Realização do ensaio experimental com outros perfis de consumo domésticos superiores aos utilizados neste projeto.

- Utilização de um mecanismo que limita a temperatura máxima da água quente a 60°C quando o reservatório está ligado aos módulos FV.
- Utilização de baterias para armazenar a energia excedente dos módulos FV, após a água atingir os 60°C.
- Ter em consideração durante a análise da viabilidade energética e económica do sistema, a perda da eficiência dos painéis ao longo dos anos e a atualização dos preços das tarifas de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

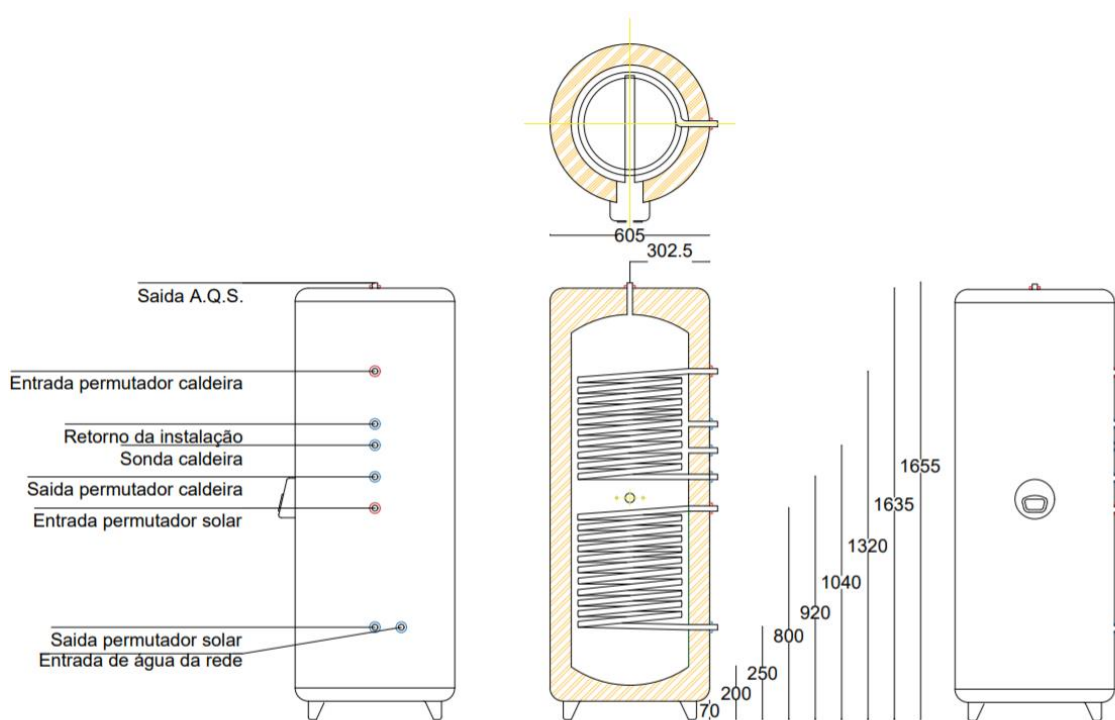
- Araújo, T. (2019). *Avaliação do Efeito de Revestimentos Antiaderentes na Eficiência de Coletores Solares*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1 vol.
- Archi Expo – Arquitetura e Design: painéis solares fotovoltaicos (2020). <https://www.archiexpo.com/pt/fabricante-arquitetura-design/painel-fotovoltaico-1557.html>, (página internet oficial), Portugal.
- BBC NEWS (2020). <https://www.bbc.com/news/science-environment-15836433>. British Broadcasting Corporation (página internet oficial), Londres.
- BlueSol (2020). <https://blog.bluesol.com.br/placas-fotovoltaicas/>. Energia Solar. Placas Fotovoltaicas (página internet oficial), Brasil.
- Canal Solar (2020). <https://canalsolar.com.br/index.php/artigos/item/59-entendendo-as-curvas-iv-e-pv-dos-modulos-fotovoltaicos>. Entendendo as curvas IV e PV dos módulos fotovoltaicos (página internet oficial), Brasil.
- Casa Eficiente (2020). 9.a3 Intervenção nos sistemas de produção de água quente sanitária.
- Ciência Viva (2020). https://www.cienciaviva.pt/equinocio/lat_long/cap2.asp. A Rotação da Terra (página internet oficial), Portugal.
- Decreto-Lei nº118/2013. Aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e transpõe a Diretiva nº2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.
- Despacho nº3156/2016. Publicação das regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis de acordo com o tipo de sistema, concretizando o estabelecido no Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de agosto e respetiva regulamentação, nomeadamente a Portaria nº 349-D/2013, de 2 de dezembro, na sua atual redação.
- DGEG (2020). <http://www.dgeg.gov.pt/default.aspx?cn=636364486449AAAAAAAAAAAAAA> Direção Geral de Energia e Geologia (página internet oficial), Portugal.
- DGS – Direção-Geral da Saúde (2013). *Prevenção da Doença dos Legionários*.
- Scheid, D. (2018). *Perdas de Potência em Sistemas Fotovoltaicos pela Elevação da Temperatura*. Tese de Bacharelato, Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, Pampa, 1 vol.
- Diretiva nº2010/31/EU. Do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios.

- ECO.AP (2019). *Manual de Eficiência Energética: Águas Quentes e Sanitárias*. Programa de Eficiência Energética na Administração Pública, Portugal.
- EN (2016). *12897:2016 Water supply – Specification of indirectly heated unvented (closed) storage water heaters*. European Standard, Bruxelas.
- Eurostat(2020).https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=File:Final_energy_consumption_in_the_residential_sector_by_type_of_end-use,_EU-28,_2016.png. Comissão Europeia (página internet oficial), Luxemburgo.
- ERSE (2018). *Períodos Horários na Energia Elétrica em Portugal*. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Portugal.
- Fadigas, E. (s.d). *Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-económica*. Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Fernandes, C. (2013). *Determinação dos caudais de conforto em chuveiros*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, 1 vol.
- JE (2020). <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/economize-escolhas-inteligentes-no-aquecimento-de-aguas-421527>. Jornal Económico (página internet oficial), Lisboa.
- ONU News (2020). news.un.org/pt/story/2019/09/1688102. Organização das Nações Unidas (página internet oficial), Bruxelas.
- Portal das Energias Renováveis (2020). http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias.asp?ID_conteudo=102&ID_area=15. Medição da radiação solar (página internet oficial), Portugal.
- Poupa Energia (2020). <https://poupaenergia.pt/consumo-de-energia-em-casa/> (página internet oficial), Portugal.
- PT. SOLAR (2020). <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/painel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica> (página internet oficial), Portugal.
- Purágua (s.d). Catálogo económico.
- REA (2020). rea.apambiente.pt/content/emiss%C3%B5es-de-gases-com-efeito-de-estufa?language=pt-pt. Portal do Estado do Ambiente, Energia e Clima (página internet oficial), Portugal.
- Ribeiro, A. (2016). *Avaliação do Efeito de Revestimentos Antiaderentes na Eficiência de Coletores Solares*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1 vol.
- Selectra (2020). <https://selectra.pt/energia/empresas/edp/potencias> (página internet oficial), Lisboa.
- Serrão, M. (2010). *Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico para uma Casa de Veraneio em Pouso da Cajaíba-Paraty*. Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1 vol.

- Teixeira, F. (2015). *Painéis Fotovoltaicos: Caracterização Elétrica Automática e Procura do Ponto de Máxima Potência*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 1 vol.
- Timane, H. (2010). Princípio de Funcionamento do Sistema Fotovoltaico ligado à Rede Pública. Exame de Estado, Departamento de Física da Universidade Eduardo Mondlane, Maputo.
- Vulcano (2020). https://www.vulcano.pt/pt/pt/inicio/?gclid=CjwKCAiA_eb-BRB2EiwAGB (página internet oficial), Portugal.

ANEXO A - Especificações técnicas gerais do reservatório de água

Características	Especificações
Capacidade	180l
Material	Cobre
Pressão máxima de funcionamento	6,0 bar
Pressão máxima de ensaio	9,0 bar
Número de permutadores	2
Resistência Elétrica	2,5 kW



CLASSE ENERGÉTICA	PERDAS PERMANENTES S [W] volume útil em litros				VOLUME ÚTIL [l]
A ⁺	$S < 5,5 + 3,16 \cdot V^{0,4}$		S <	31.9	201
A	$5,5 + 3,16 \cdot V^{0,4} \leq S < 8,5 + 4,25 \cdot V^{0,4}$	31.9	≤ S <	44.0	201
B	$8,54 + 2,5 \cdot V^{0,4} \leq S < 12 + 5,93 \cdot V^{0,4}$	44.0	≤ S <	61.5	201
C	$12 + 5,93 \cdot V^{0,4} \leq S < 16,66 + 8,33 \cdot V^{0,4}$	61.5	≤ S <	86.2	201
D	$16,66 + 8,33 \cdot V^{0,4} \leq S < 21 + 10,33 \cdot V^{0,4}$	86.2	≤ S <	107.2	201
E	$21 + 10,33 \cdot V^{0,4} \leq S < 26 + 13,66 \cdot V^{0,4}$	107.2	≤ S <	140.0	201
F	$26 + 13,66 \cdot V^{0,4} \leq S < 31 + 16,66 \cdot V^{0,4}$	140.0	≤ S <	170.0	201
G	$S > 31 + 16,66 \cdot V^{0,4}$		S >	170.0	201

Onde S=43,12W

ANEXO B – Especificações gerais dos painéis fotovoltaicos

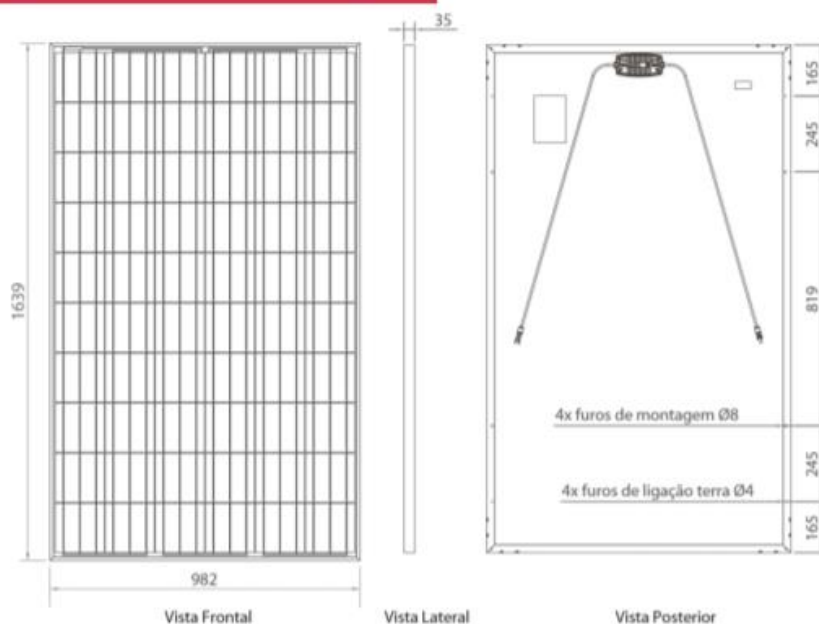
ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS				
Potência Nominal (Wp)	PMPP	230	240	250
Variação Positiva da Potência	PNOM	[PNOM-0; PNO _M +4.99W]		
Corrente em MPP (A)	IMPP	7.92	8.13	8.34
Tensão MPP (V)	VMPP/UMPP	29.09	29.55	30.02
Tensão de Circuito Aberto (V)	VOC/UOC	37.04	37.23	37.60
Corrente de Curto Circuito (A)	ISC	8.39	8.47	8.68
Eficiência do Módulo	η (%)	14.3	14.9	15.6
Tensão Máxima do Sistema (V)	VSYST	1000		
Valor Máximo de Fusível de String (A)	I	15		
NOCT		45±2		
Coeficientes de Temperatura:				
Potência	γ (PNOM)	-0.424%/°C		
Tensão	β (Voc)	-0.313%/°C		
Corrente	α (Isc)	+0.059%/°C		

* Valores em condições de teste padrão STC (massa de ar AM 1,5, irradiância 1000 W/m², temperatura da célula de 25 °C) Tolerância máxima de potência: ±3%

ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS

Dimensões	1639 x 982 x 35 mm
Peso	20 kg
Células Solares	60 células multicristalinas de 6 polegadas
Protecção Frontal	Temperado e Texturado com Espessura de 4mm
Encapsulante	EVA (Ethylene Vinyl Acetate)
Protecção Posterior	PPE (Polyester Polyester Primer) Preto/azul/branco/transparente
Moldura	Alumínio Anodizado Prata/Preto
Díodos	3 Díodos Bypass (10.5A)
Caixas de Junção	IP 65, c/ 3 Díodos Bypass
Cabo	2 Cabos de 0.8 m
Conector	Weidmüller (compatível MC4) com opção de conector Tyco

DIMENSÕES (todos os valores estão em mm)



ANEXO C – Tensão e corrente máximas do módulo da unidade Agilent 34970A

Guia de seleção rápida dos módulos para as unidades 34970A/34972A da Keysight

Descrição do modelo	Tipo	Velocidade (can/s)	Tensão máx.	Corrente max.	Largura de banda	Deriva térmica	Comentários	Página
34901A Mux c/ 20 canais + 2 canais de corrente	Armadura c/ 2 fios (opção c/ 4 fios)	60	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V	Referência de junta fria integrada 2 canais de corrente adicionais (22 canais no total)	21
34902A Mux c/ 16 canais	Reed c/ 2 fios (opção c/ 4 fios)	250 ⁽¹⁾	300 V	50 mA	10 MHz	< 6 μ V	Referência de junta fria integrada	21
34903A Acionador/ comutador de uso geral c/ 20 canais	SPDT/form C	120	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V		23
34904A Matriz 4x8	Armadura c/ 2 fios	120	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V		23
34905A Mux de RF duplo 4 canais, 50 Ω	Baixo comum (s/ terminação)	60	42 V	0,7 A	2 GHz	< 6 μ V	1 GHz de banda através do cabo adaptador BNC-SMB	24
34906A Mux de RF duplo 4 canais, 75 Ω	Baixo comum (s/ terminação)	60	42 V	0,7 A	2 GHz	< 6 μ V	1 GHz de banda através do cabo adaptador BNC-SMB	24
34907A Módulo multifuncional	2 E/S digitais de 8 bits		42 V	400 mA			Dreno aberto	25
	Contador de 26 bits		42 V		100 KHz		Limiar de entrada selecionável	
	2 saídas analógicas de 16 bits		± 12 V	10 mA	CC		Saída total de 40 mA por quadro	
34908A Mux c/ 40 canais desbalanceados	Armadura c/ 1 fio (baixo comum)	60	300 V	1A	10 MHz	< 3 μ V	Referência de junta fria integrada Sem medições a 4 fios	21